Université du Québec
en Abitibi-Témiscamingue

MODULE DES SCIENCES APPLIQUÉES

ÉTUDE ET RÉALISATION D'UN SYSTÈME HYBRIDE D'ALIMENTATION DOMESTIQUE AUTONOME EN ÉNERGIE RENOUVELABLE

PROJET D'ÉTUDES EN INGÉNIERIE DANS LE CADRE DU PROGRAMME DE BACCALAURÉAT EN GÉNIE ÉLECTROMÉCANIQUE

Présentée par : Sébastien Poulin Dessureault
Jérémie Bédard

Superviseur : René Wamkeue, ing.,Ph.D, Prof. Titulaire

Représentant industriel : Mario Bussières, Directeur de Bventilation

AVRIL 2010

Remerciements

Nous tenons à adresser nos plus sincères remerciements à notre représentant en entreprise Mario Bussières de l'entreprise Bventilation.

Nous remercions M. Vicky Tremblay qui nous a permis de visiter sa maison. Celle-ci est munie d'un système de production autonome qui nous a permis de mieux cerner l'ampleur de notre projet.

Nous remercions M. René Wamkeue, ing.,Ph.D, Prof. Titulaire, superviseur à l'UQAT qui a mis tous les efforts nécessaires à l'avancement du projet grâce à ses nombreuses connaissances et sa grande expérience dans le domaine de la production d'énergie électrique.

Nous remercions M. Jean-Jacques Beaudoin, ing. professionnel en électrique, pour sa collaboration et son aide pour l'utilisation des logiciels de simulation et de conception de circuit électrique. Sa générosité, sa passion à partager ses connaissances et à répondre à nos questions ont été un atout important pour la réussite du projet.

Nous remercions aussi les personnes ressources qui ont bien voulu prendre de leur temps pour répondre à nos interrogations et permettre au projet d'avancer dans la bonne direction :

- M. Walid Ghie, ing. Ph.D, Prof.en génie mécanique
- M. François Godard, ing. Ph.D, Prof. en thermodynamique et en transfert de chaleur
- Mme Nicole Robert, Prof. en gestion de projet

Résumé

Ce rapport présente dans un ordre logique les étapes des démarches utilisées pour la réalisation du projet intermédiaire dans le baccalauréat en génie électromécanique de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue. Le projet consiste à faire l'étude d'un système d'alimentation autonome pouvant fournir la puissance nécessaire pour une maison type québécoise. En premier lieu, une élaboration des solutions possibles a été réalisée pour déterminer quel type d'installation peut fournir la puissance requise. Dans cette optique et à la demande du représentant industriel de l'entreprise BVENTILATION, l'étude d'une tour de convection ayant comme théorie d'appui les similitudes avec un prototype déjà existant pouvant produire un courant d'air constant a été réalisée. De cette étude est ressorti un prototype dont les dimensions sont très grandes. Étant donné la faisabilité réduite d'une telle conception, les technologies existantes telles les éoliennes, les panneaux solaires et les génératrices utilisant l'énergie fossile comme combustible sont étudiés à l'aide de simulations avec le logiciel MATLAB et des théories fournies dans différents ouvrages de références. L'étude a fait ressortir un système d'alimentation qui utilise en tandem une éolienne, des panneaux solaires et une génératrice au diesel en cas de besoin. L'analyse de consommation électrique de la maison type a permis de dimensionner les paramètres du système. Le système est donc constitué d'une éolienne pouvant fournir 5KW avec un vent ayant une vitesse de 12 m/s, de 16 panneaux solaires qui fournissent chacun 175 W lors de journée ensoleillée et d'une génératrice au diesel qui peut fournir jusqu'à 12.5 KW en cas de besoin. Un système de stockage d'énergie constitué de 24 batteries est également prévu pour augmenter la fiabilité et l'autonomie du système. Un schéma électrique complet de réalisation prenant en compte le dimensionnement, le choix et le coût des composants du système est proposé dans ce travail.

Abstract

This report presents in a logical sequence of steps of the approaches used for the project through the Bachelor of Electromechanical Engineering from the University of Quebec in Abitibi-Témiscamingue. The project is to study a system of autonomous power supply that can provide power for a typical home in Quebec. First, an elaboration of possible solutions has been conducted to determine what type of facility can provide the required power. In this context and at the request of the representative BVentilation Industrial Company, the study of a convection tower as having supported the theory of similarity with a prototype already exists that can produce a constant air current was produced. This study revealed a prototype whose dimensions are very large. Given the limited feasibility of such a design, existing technologies such as wind turbines, solar panels and generators using fossil fuels as are studied with MATLAB computer simulations and theories provided in the literature references. The study revealed a fuel system that uses a tandem wind, solar panels and diesel generators in case of need. Analysis of power consumption of the typical house has calculating the parameters of the system. The system is composed of a wind turbine to provide a 5KW wind having a speed of 12 m / s, 16 solar panels which provide 175 W at each sunny day and a diesel generator that can provide up 12.5 KW in case of need. An energy storage system consisting of 24 batteries is also expected to increase reliability and system autonomy. A complete electrical diagram of achievement taking into account the dimensioning, choice and cost of system components is proposed in this work.

Table des matières

Remerciements i
Résumé ii
Abstract iii
Liste des tableaux viii
Liste des abréviations et des symboles ix
Liste des abréviations et des symboles (suite) x
Liste des figures xi
Liste des figures (suite) xii

CHAPITRE 1 : Présentation du projet 1
1.1 Introduction 1
1.2 Problématique et mandat 2

CHAPITRE 2 : Théorie et analyse d'une tour à convection 3
2.1- Introduction 3
2.2- Les modes de transferts de chaleur (d'énergie) 3
2.2.1 Le principe de la convection 3
2.2.2 Le principe de la conduction 4
2.2.3 Le principe de la radiation 5
2.2 Analyse dimensionnelle d'une tour à convection 6
2.2.1 Description du prototype 6
2.2.2 Analyse de similitude : 8
2.2.3 Recommandation et conclusion 12

CHAPITRE 3 : Les systèmes de production d'énergie modulaires (éolien, solaire et diesel) 12
3.1 Les éoliennes 12
3.1.1 Introduction 12
3.1.2 Description fonctionnel des différents types existants : 13
3.1.3 Principe de raccordement au système 15
3.2 Les panneaux solaires 15
3.2.1 Introduction 15
3.2.2 Fonctionnement des panneaux solaires photovoltaïques 16

3.3 La génératrice au diesel 17
3.3.1 Introduction 17
3.3.2 Fonctionnement 17
3.3.3 Principe de raccordement au système 18

CHAPITRE 4 : Modélisation des sous-systèmes de la centrale modulaire 19
4.1 Description du fonctionnement idéal dans le cadre de notre mandat 19
4.2 Les éoliennes 19
4.2.1 Alternateur de l'éolienne : Génératrice asynchrone (machine asynchrone) 22
4.2.1.1 Partie électrique : 23
4.2.1.2 Partie mécanique : 26
4.3 Les panneaux solaires 26
4.4 La génératrice au diesel 28
4.4.1 Alternateur de la génératrice au diesel (machine synchrone) 28
4.4.1.1 Partie électrique : 29
4.4.1.2 Partie mécanique 32
4.4.2 Moteur au diésel : 33

CHAPITRE 5 : Résultats des simulations et discussion 34
5.1 Simulation des performances de chaque système modulaire 34
5.1.1 Le système éolien 34
5.1.1.1 Simulation 1 : Le couple généré en PU en fonction de la vitesse d'entrée du vent 34
5.1.1.2 Simulation 2 : La puissance produite par la génératrice asynchrone entrainée par l'éolienne 35
5.1.1.3 Simulation 3 : La vitesse de rotation de la génératrice asynchrone entrainée par l'éolienne 37
5.1.1.4 Simulation 3 : La tension produite par la génératrice asynchrone entrainée par l'éolienne 37
5.1.1.5 Simulation 4 : Le courant produit par la génératrice asynchrone entrainée par l'éolienne 38
5.1.2 Le système de panneau solaire 38
5.1.2.1 Simulation 1 : Observation de l'influence de la température sur la tension et le courant 39
5.1.2.2 Simulation 2 : Observation de l'influence de la température sur la puissance produite 40

5.1.2.3 Simulation 3 : Observation de l'influence du facteur de qualité sur le courant produit 41
5.1.2.4 Simulation 4: Observation de l'influence de l'intensité de l'ensoleillement sur le courant et la tension 42
5.1.2.5 Simulation 5: Observation de l'influence de l'intensité de l'ensoleillement sur la tension et la puissance 43
5.1.3 La génératrice au diesel 43
5.1.3.1 Simulation 1 : la tension et le courant généré avec la vitesse nominale du moteur (1 pu) 43
5.2 Simulation du temps de charges pour le banc de batteries de chaque système 45
5.2.1 Le système d'éolienne 45
5.2.1.1 Simulation 1 : La charge de la batterie avec l'éolienne seulement 45
5.2.2 Le système de panneau solaire 46
5.2.2.1 Simulation 2 : La charge de la batterie avec un système de panneau solaire seulement 46
5.2.3 La génératrice au diesel 48
5.2.3.1 Simulation 3 : La charge de de la batterie et l'alimentation avec la génératrice au diesel 48

CHAPITRE 6 : Dimensionnement et choix des composantes pour une maison type québécoise 49
6.1 Introduction 49
6.2 Description de la maison 50
6.3 Calculs de la demande en puissance selon l'alinéa a) du code: 51
6.4 Dimensionnement et choix des composantes 52
6.4.1 Calcul et choix du banc de batteries 52
6.4.2 Choix de l'éolienne 54
6.4.3 Choix des panneaux solaires 55
6.4.4 Choix de la génératrice au diesel 56

CHAPITRE 7 : Schéma général, d'implantation et de câblage électrique 57
7.1 Le système d'éolienne 57
7.1.1 Synoptique de raccordement 57
7.2 Le système de panneau solaire 57
7.2.1 Synoptique de raccordement 57
7.3 La génératrice au diesel 58

7.3.1 Synoptique de raccordement 58
CHAPITRE 8 : Santé et sécurité 58

CHAPITRE 9 : Calculs économiques 59

CONCLUSION 60
Références 61

Annexe 1 : Exemples pour les modes de transfert de chaleur 62
Annexe 2 : Schéma d'une tour de refroidissement de centrale thermique 64
Annexe 3 : Représentation du prototype 65
Annexe 4 : Comparaison du prototype avec la maison type 66
Annexe 5 : Résumé des possibilités de génératrice 67
Annexe 6 : Description des éléments de régulation et de contrôle du système 68
Le convertisseur AC/DC (le redresseur) 68
Les batteries (accumulateur): 68
L'onduleur (DC/AC) 69
Le convertisseur DC/DC (le hacheur) 70
Annexe 7 : Données d'ensoleillement au Québec 71
Annexe 8 : 72
Circuit du bloc du hacheur régulateur de tension 72
Circuit du block onduleur 73
Annexe 9 : Exemple de script Matlab pour la simulation des panneaux solaires 74
Annexe 10 : Circuit *Simulink* de chargement pour tout les systèmes (éolien,solaire, diesel) 75
Annexe 11 : Caractéristique du panneau solaire pour la modélisation et l'étude de l'influence des différents paramètres 77
Annexe 12 : Spécification pour la génératrice sélectionnée 80
Annexe 13 : Circuit d'implantation 84

Liste des tableaux

Tableau 2.1:Propriété de la troposphère à différentes altitudes. 7
Tableau 2.2:Unités de chaque paramètre 8

Tableau 3.1: Avantages et inconvénients des éoliennes 15
Tableau 3.2: Avantages et inconvénients des panneaux solaires 17
Tableau 3.3: Avantages et inconvénients de la génératrice au diesel 18

Tableau 4.1:Indice pour la partie électrique de la génératrice 28

Tableau 5.1:Résultat de la simulation pour la turbine de l'éolienne 35

Tableau 6.1:Table de calcul pour les besoins énergétiques de la maison 51

Tableau 9.1:Bilan économique 59

Tableau A.1:Résumé des possibilités de génératrice pour l'éolienne 67
Tableau A.2:Statistiques sur les heures d'ensoleillement au Québec 71

Liste des abréviations et des symboles

Paramètres	Unités	Définition
P_{vent}	W	Puissance du vent
$P_{éol}$	W	Puissance développée par la turbine de l'éolienne
P	kg/m^3	Masse volumique de l'air
V	m/s	Vitesse du vent
A	m^2	Surface couverte par les pâles de l'éolienne
D	m	Diamètre couvert par les pâles
C_p	aucune	Coefficient de performance de l'éolienne
Λ	aucune	Rapport de vitesse entre les pâles et le vent
B	°	Angle entre le vent et le pâles
a,b,c	aucune	Phases des enroulements statoriques
A,B,C	aucune	Phase des enroulements rotoriques
θ	Rad	Angle électrique entre l'axe magnétique de la phase a et de la phase A
v_a, v_b, v_c	V	Tension instantanée aux bornes de l'enroulement statorique en
i_a, i_b, i_c	A	Courant instantanées aux bornes de l'enroulement statorique en
i_A, i_B, i_C	A	Courant instantanées aux bornes de l'enroulement rotorique en
R_A,R_a	Ω	Résistance rotoriques et statoriques
ψ_a, ψ_b, ψ_c	Wb	Flux total traversant l'enroulement statorique
ψ_A, ψ_B, ψ_Cb	Wb	Flux total traversant l'enroulement rotorique
T	Nm	Couple
R_s, L_{ls}	Ω	Résistance et inductance de fuite du stator
R'_r, L'_{ir}	Ω	Résistance et inductance de fuite du rotor
L_m	Ω	Inductance de magnétisation
L_s, L'_r	Ω	Inductance total du rotor et du stator
V_{qs}, i_{qs}	V, A	Tension et courant du stator selon l'axe q
V'_{qr} , i'_{qr}	V, A	Tension et courant du rotor selon l'axe q
V_{ds}, i_{ds}	V, A	Tension et courant du stator selon l'axe d
V'_{dr},i'_{dr}	V, A	Tenions et courant du rotor selon l'axe d
ω_m	Rad/s	Vitesse angulaire du rotor

Liste des abréviations et des symboles (suite)

Paramètres	Unités	Définition
Θ_m	Rad	Position angulaire du rotor
p	aucune	Nombre de paire de pôles
ω_r	Rad/s	Vitesse angulaire électrique
Θ_r	Rad	Position angulaire électrique
T_e	Nm	Couple électromagnétique
T_m	Nm	Couple mécanique sur l'arbre du rotor
J	m^2kg	Inertie totale du rotor (poids et moment d'inertie)
H	m^2kg	Constante d'inertie totale
F	N	Force visqueuse de frottement total (du au poids et à la rotation)
I	A	Courant de sortie
I_L	A	Courant photovoltaïque
I_0	A	Courant de saturation de la diode
I_{SC}	A	Courant de court circuit
I_{max}	A	Courant maximal
V_{co}	V	Tension en circuit ouvert
V_{max}	V	Tension maximale
q	éV	Charge élémentaire d'un électron ($1.60*10^{-19}$)
T	°C	Température de la matrice de cellule
T_1	°C	Température 1
T_2	°C	Température 2
$T_{1,nom}$	°C	Température nominale de fonctionnement
K_0	Aucune	Constante de proportionnalité
R_s	Ω	Résistance série des cellules
G_a	kW/m^2	Intensité lumineuse ambiante
A	m^2	Surface du panneau
k	J/K	Le nombre de Boltzman ($1.38*10^{-23}$)
n	aucune	Facteur de qualité.
P_{max}	W	Puissance maximale
P_{min}	W	Puissance minimale
FF	Aucune	Le facteur de remplissage (*fill factor*)
$\Delta\omega$	Aucune	Variation de vitesse par rapport à la vitesse nominale
Kd	Aucune	Facteur d'amortissement
$\omega(t)$	Rad/s	Vitesse angulaire du rotor
$\omega 0$	Rad/s	Vitesse nominale d'opération

Liste des figures

Figure 2.1: Cellule de convection 3
Figure 2.2:Pression en fonction de l'altitude 7
Figure 2.3:Température en fonction de l'altitude 8

Figure 3.1: Schéma d'une éolienne 13
Figure 3.2: Fonctionnement des panneaux solaires photovoltaïques 16

Figure 4.1: Synoptique complet du système de production (éolien/solaire/diesel) 19
Figure 4.2: Coefficient de performance en fonction du ratio vitesse rotor/vent 21
Figure 4.3: Schéma bloc de la turbine de l'éolienne 22
Figure 4.4 : Schématisation des différents enroulements d'une machine asynchrone à simple cage d'écureuil 23
Figure 4.5: Schéma de la partie électrique ramené sur l'axe q 24
Figure 4.6: Schéma de la partie électrique ramené sur l'axe d 24
Figure 4.7 : Schéma bloc de la machine asynchrone 26
Figure 4.8 : Circuit équivalent pour modéliser un panneau solaire 26
Figure 4.9 : Schéma bloc du panneau solaire 28
Figure 4.10: Schématisation d'un alternateur synchrone 29
Figure 4.11:Circuit équivalent avec la transformée de Park (1/2) 30
Figure 4.12:Circuit équivalent avec la transformée de Park (suite 2/2) 30
Figure 4.13: Schéma bloc de la génératrice synchrone 32
Figure 4.14: Schéma détaillé du moteur M1 définissant les différentes notations utilisées 33

Figure 5.1: Modèle matlab pour l'éolienne 35
Figure 5.2:La puissance électrique fournit par l'éolienne en fonction du temps 36
Figure 5.3:La vitesse de rotation de la génératrice en fonction du temps 37
Figure 5.4:La tension fournit par l'éolienne en fonction du temps 37
Figure 5.5 :Le courant fournit par l'éolienne en fonction du temps 38
Figure 5.6:Le courant et la tension du panneau solaire en fonction de la température 39
Figure 5.7:La puissance en fonction de la tension pour différentes températures 40
Figure 5.8:Le courant et la tension du panneau solaire en fonction du facteur de qualité 41
Figure 5.9:Influence de l'intensité de l'ensoleillement 42
Figure 5.10:Influence de l'intensité de l'ensoleillement sur la puissance 43
Figure 5.11:La tension fournit par la génératrice en fonction du temps 44
Figure 5.12:Le courant fournit par la génératrice en fonction du temps 44
Figure 5.13:Résultat de chargement de la batterie avec l'éolienne 45
Figure 5.14:Droite de charge avec un seul panneau solaire 46
Figure 5.15:Droite de charge avec deux panneaux solaires 47
Figure 5.16:Droite de charge avec la génératrice au diesel 48

Liste des figures (suite)

Figure 6.1 :Modèle de maison type 49
Figure 6.2: Banc de batteries 52
Figure 6.3 :Performance de l'éolienne pour différentes vitesses de rotor 54
Figure 6.4 :Éolienne HAWT 5 KW 54
Figure 6.5 :Solar world 175 Watts 55
Figure 6.6:YANmar Génératrice HDYW-14M6 56

Figure 7.1:Synoptique de raccordement pour l'éolienne 57
Figure 7.2:Synoptique de raccordement pour les panneaux solaires 57
Figure 7.3:Synoptique de raccordement pour la génératrice 58

Figure A.1:Exemple de la convection 62
Figure A.2:Exemple de convection et de conduction thermique 62
Figure A.3:Exemple de radiation 63
Figure A.4:Tour de refroidissement 64
Figure A.5:Schéma du prototype 65
Figure A.6:Comparaison du prototype avec les dimensions d'une maison type 66
Figure A.7:Principe de fonctionnement d'un redresseur 68
Figure A.8:Principe de fonctionnement de l'onduleur 69
Figure A.9:Principe de fonctionnement d'un hacheur 70
Figure A.10:Cartographie de l'intensité de l'ensoleillement 71
Figure A.11:Circuit Matlab du hacheur régulateur de tension 72
Figure A.12:Circuit Matlab de l'onduleur 73
Figure A.13:Circuit Matlab de charge pour l'éolienne 75
Figure A.14:Circuit Matlab de charge pour un panneau solaire 76
Figure A.15:Circuit de charge et d'alimentation Matlab pour la génératrice au diesel 76

CHAPITRE 1 : Présentation du projet

1.1 Introduction

L'entreprise, pour laquelle le projet est réalisé, se spécialise dans la distribution des ventilateurs.

Dans le but de toujours innover et pour faire fructifier les profits, le propriétaire de l'entreprise a eu l'idée de rendre ses ventilateurs réversibles pour produire de l'énergie à partir des courants d'air. Suivant cette ligne de pensée, nous avons été mandatés par l'entreprise pour créer un courant d'air qui peut faire fonctionner une génératrice domestique.

Le problème, c'est que ce courant d'air doit être constant pour pouvoir assurer le bon fonctionnement de la génératrice. Cette contrainte est la difficulté de son idée. En fait, le besoin principal derrière l'idée est de fournir l'énergie électrique nécessaire pour une maison type. La solution proposée est l'implantation d'un système produisant de l'énergie à partir de l'environnement soit de l'énergie verte. En se basant sur l'idée de créer un courant d'air, il est possible de tout simplement extraire l'énergie naturelle du vent grâce à une éolienne à la place de le créer. Pour répondre, à la demande énergétique d'une maison de façon autonome et le plus vert possible, on propose dans ce rapport l'implantation d'un système hybride d'énergie comprenant une éolienne, des panneaux solaires et une génératrice au diesel.

Pour ce faire, l'étude de la combinaison d'un système comportant une éolienne, des panneaux solaires et une génératrice au diesel en cas d'urgence est réalisée dans ce document. L'étude comprend :

- Un cadre théorique
- Une analyse dimensionnelle d'une tour à convection naturelle
- Une description des différents systèmes de production d'énergie alternative
- Les équations de chaque système pour la modélisation et la simulation avec Matlab
- Les simulations et les résultats
- Le dimensionnement de la maison type et choix des équipements
- Le schéma de câblage et d'implantation du système
- Les conseils de santé et sécurité
- La conclusion et les recommandations

1.2 Problématique et mandat

Problématique :

Afin de répondre aux problèmes d'alimentation des maisons situées dans les zones éloignées du réseau d'Hydro-Québec, le projet consiste en la modélisation d'une maison indépendante du réseau s'alimentant principalement avec un système d'éolienne et de panneaux solaires. Le mandat va permettre d'effectuer l'étude et la réalisation d'un système hybride d'alimentation domestique autonome.

Mandat :

Alimentation d'une maison de façon autonome et le plus respectueux possible de l'environnement à l'aide des sources d'énergies vertes.

Cahier de charges :

- Analyse dimensionnelle pour la création d'une tour de convection
- Analyser tous les systèmes de production d'énergies renouvelables connues (différentes combinaisons avantages et inconvénients)

- Étude de la demande énergétique d'une maison type québécoise
- Étude de faisabilité

- Analyser le jumelage éolien, énergie solaire et génératrice au diesel
- Développer un modèle dynamique simplifié d'une turbine éolienne associée à une génératrice asynchrone, faire des simulations avec Matlab.

- Développer un modèle dynamique d'une génératrice diesel et du système solaire, faire des simulations avec Matlab.
- Analyse complète et un schéma électrique d'implantation, pour la maison type proposée

- Application pratique (choix d'équipement, schéma de câblage et des coûts)
- Être en mesure de construire un tel système à partir de nos documents

CHAPITRE 2 : Théorie et analyse d'une tour à convection

2.1- Introduction

Dans ce chapitre, les principales méthodes pour le transfert d'énergie et de chaleur sont expliquées. Ces principes physiques sont réutilisés tout au long du rapport, car les composantes du système utilisent ceux-ci comme source d'énergie. Avec la compréhension de ces phénomènes, une analyse de similitude pour la conception d'une tour de convection qui peut produire 10 kilowatts est aussi développée dans ce chapitre.

2.2- Les modes de transferts de chaleur (d'énergie)

Il existe trois principaux modes de transfert de chaleur et d'énergie, soient :

- La convection
- La conduction
- La radiation

2.2.1 Le principe de la convection

Qu'est-ce que la convection ?

La convection est un phénomène qui se traduit par un déplacement d'air et un transfert d'énergie thermique. En d'autres termes, l'air plus chaud monte et l'air froid redescend ce qui crée le déplacement d'air. (réf.2)

Une cellule de convection est un déplacement perpétuel de l'air. La figure ci-dessous illustre ce fait.

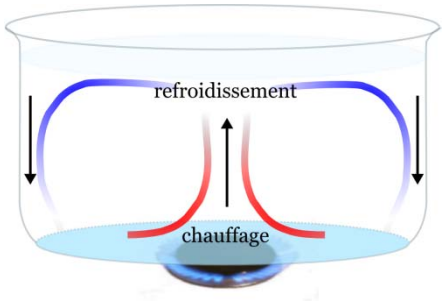


Figure 2.1: Cellule de convection

Ce principe est utilisé dans plusieurs appareils à usage quotidien comme le réfrigérateur. Dans un réfrigérateur, l'air froid entre par le haut du réfrigérateur, car l'air chaud monte à l'intérieur du réfrigérateur et l'air froid redescend pour prendre la place de l'air chaud. Le mouvement de l'air se fait ainsi sans la présence de ventilation.

La loi de la physique pour la convection s'exprime comme suit :

$$q = hA(t_s - t_\infty) \tag{2.1}$$

Où :

h = coefficient de convection

A = l'aire perpendiculaire à la direction du flux de chaleur

t_s = la température de la surface considérée

t_∞ = la température du fluide au large

q = la puissance (en watt)

2.2.2 Le principe de la conduction

Qu'est-ce que la conduction ?

Le 2e mode de transfert de chaleur s'effectue entre 2 éléments en contact physiquement lorsque ceux-ci possèdent une différence de température.

Lorsqu'il y a conduction, la loi de Fourier permet de quantifier la quantité de chaleur transférée d'un corps à l'autre. La loi dite de Fourier établie mathématiquement par Jean-Baptiste Biot en 1804 puis expérimentalement par Fourier en 1822 s'exprime ainsi :

$$q = -kA\frac{dT}{dx} \text{ où } q = le\ flux\ de\ chaleur\ (en\ Watts) \tag{2.2}$$

On remarque que la densité de flux de chaleur est proportionnelle au gradient de température et à la surface de l'objet. La constante de proportionnalité k est nommée conductivité thermique du matériau. Elle est toujours positive. Avec les unités du système international, la conductivité thermique k s'exprime en $J.m^{-1}.K^{-1}.s^{-1}$ ou soit des $W\ m^{-1}K^{-1}$(réf.2).

2.2.3 Le principe de la radiation

Qu'est-ce que la radiation ?

Le 3e mode de transfert de chaleur est le mode par lequel la chaleur passe d'un corps à haute température à un autre sans aucun contact par l'intermédiaire de l'air ou du vide. Le rayonnement thermique est émis continuellement par tous les corps, dans toutes les directions et à la vitesse de la lumière dans le vide seulement.

La relation fondamentale pour la radiation est la loi de Stefan-Boltzman de 1879 qui s'écrit comme suit :

$$q = \sigma A T_1^4 \tag{2.3}$$

Où, $\sigma = constante\ universelle = 5{,}66697 * 10^{-8}\ Wm^{-2}K^4$

L'équation exprime que le flux d'énergie radiante émis par une surface idéale, appelée corps noirs, est proportionnel à l'aire de la surface et à la quatrième puissance de la température absolue de la surface. (réf.2)

Des exemples pour les 3 modes de transfert de chaleur sont fournit à l'annexe 1.

2.2 Analyse dimensionnelle d'une tour à convection

Cette section du chapitre a pour objectif de dimensionner un prototype pour fournir l'énergie nécessaire à une maison à l'aide d'une tour à convection naturelle. Cette tour utilise la différence de température selon l'altitude pour créer un mouvement d'air constant.

2.2.1 Description du prototype

Un des problèmes majeurs rencontrés dans la production d'énergie autonome, c'est l'irrégularité des sources d'énergie utilisée. L'idée pour contrer cet inconvénient serait de produire un courant d'air constant. Le principe de base utilisée pour créer ce courant d'air est la convection. Ce document explique les détails d'un concept pouvant produire un courant d'air constant et en fait l'analyse.

Le concept est basé sur les tours de refroidissement utilisées dans les centrales thermiques. Un schéma d'une tour de refroidissement est fourni à l'annexe 2.

En fait, dans les tours de refroidissement, le courant d'air est souvent forcé, mais dans notre cas il est créé. D'abord, l'eau d'entrée doit être froide plutôt que chaude. En étant froide et sous forme de fine gouttelette, l'eau refroidit l'air du haut de la tour et la force à descendre dans le conduit. Il est important que l'eau entre dans le haut de la tour sous forme de gouttelette, car elle a tendance à se vaporisé, ce qui refroidit l'air encore plus. Quand l'air est froid, sa densité est plus élevée ce qui augmente le poids du gaz qui a tendance à descendre dans le conduit. Le bas de la tour devra quant à lui être plus chaud que le haut. Pour réaliser ce tour de force, il faut enfoncer le bas de la tour dans le sol, qui est généralement à une température d'environs 10^{o}C à partir de 6 pieds sous terre. De plus, il faut que le haut de la tour soit assez élevé en altitude pour que la différence de température entre le haut et le bas soit suffisamment considérable pour produire assez de puissance.

Un tel concept a déjà été pensé par le professeur Dan Zaslavsky (réf.9). C'est d'ailleurs sur son concept que reposent les fondements de celui proposé dans ce rapport étant donné la grande complexité du problème. Une représentation de ce qu'un tel prototype aurait l'air est fournit à l'annexe 3.

Selon la référence 10, une tour de 50 MW aurait une hauteur de 600m et un diamètre de 400m. Dans le cas présent, la tour devrait produire environ 10 KW pour alimenté une maison unifamiliale en hiver. Il reste donc à déterminer quelles seraient les dimensions de cette tour pour produire la puissance désirée. La méthode mise de l'avant dans ce rapport est l'analyse dimensionnelle. Ainsi, il faudrait connaître les propriétés de la troposphère en fonction de la hauteur pour arriver à faire les calculs de l'analyse dimensionnelle.

Voici un tableau qui représente les données prises par une radio sonde.

Tableau 2.1:Propriété de la troposphère à différentes altitudes.

temps (secondes)	**altitude** (mètres)	**pression** (hPa)	**température** (°C)	**humidité** (g/kg)
0	0	1019,92	6,12	4,58
82	250	987,6	3,06	3,78
153	500	957,46	0,58	3,7
256	750	927,98	-1,34	3,41
392	1000	899,17	-3,34	2,77
510	1250	871,07	-5,07	2,51
637	1500	843,78	-6,66	2,37

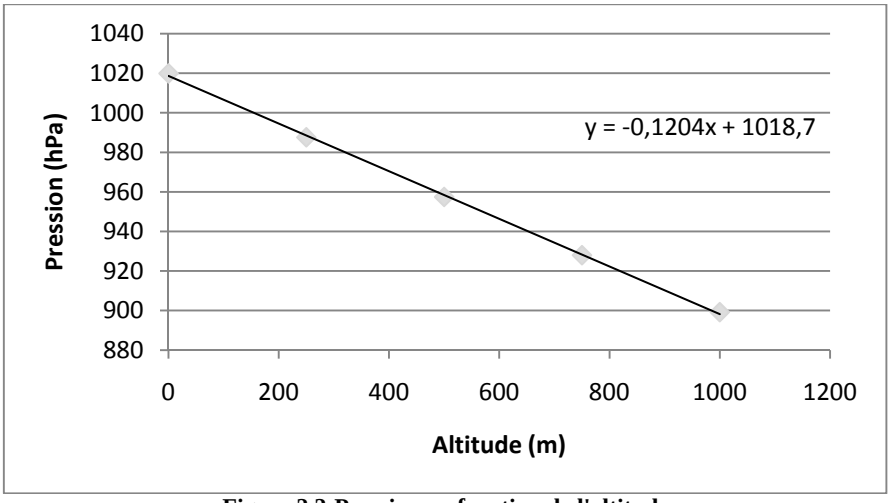


Figure 2.2:Pression en fonction de l'altitude

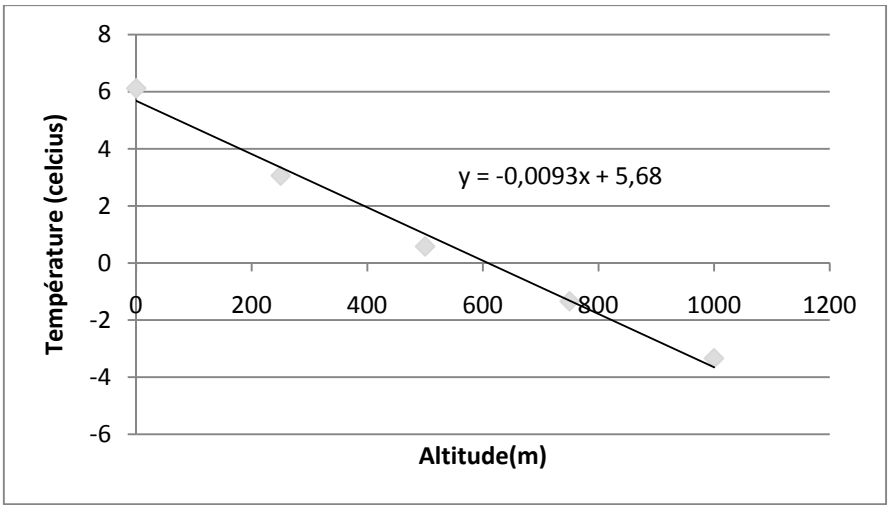


Figure 2.3:Température en fonction de l'altitude

À l'aide de ces données et du concept existant, il est possible de déterminer approximativement les dimensions de la tour de convection pour produire la puissance désirée. La méthode de calcul mise de l'avant pour en arriver aux dimensions finales est l'analyse des similitudes. Grossièrement, cette analyse peut être vue comme une règle de trois, en connaissant les paramètres du prototype existant et les particularités du concept final, il est possible de connaître les grandeurs de la tour de convection de 10 kW.

2.2.2 Analyse de similitude :

- Faire la liste des paramètres importants pour le calcul de similarité

H=600m D=400m P=50MW T_h=-6°C T_b=6°C P_h=94 kPa
P_b=101.3 kPa ρ=1.2 Kg/m^3 μ=1.8 *10^{-5} s/m^2 cp=1.007 KJ/(Kg*K)

- Écrire les unités de chaque paramètre

Tableau 2.2:Unités de chaque paramètre

H	D	Pu	T	Pr	ρ	μ	cp
L	L	ML^2T^{-3}	θ	$ML^{-1}T^2$	ML^{-3}	$ML^{-1}T^{-1}$	$L^2T^{-2}\theta^{-1}$

- Trouver le nombre j de variable

Puisqu'il y a 4 dimensions différentes dans les variables, j sera supposé égal à 4.
Maintenant il faut trouver un produit de 4 variables qui ne peuvent former un nombre adimensionnel entre eux.

$Pr^aT^b\rho^c cp^d = M^0L^0T^0\theta^0$ seulement si a,b,c,d =0 (2.4)

- Ajouter un paramètre additionnel au produit pour former le premier nombre adimensionnel.

$Pr^aT^b\rho^c cp^d Pu^1 = M^0L^0T^0\theta^0$ (2.5)

Équation des exposants :

$M : a + c + 1 = 0$ (2.6)

$L : -a - 3c + 2d + 2 = 0$ (2.7)

$T : 2a - 2d - 3 = 0$ (2.8)

$\theta : b - d = 0$ (2.9)

Donc

a= -1/2 b= -2 c=-1/2 d=-2

Donc, le premier nombre adimensionnel est :

$$\pi 1 = \frac{P_u}{P_r^{1/2} T^2 \rho^{1/2} cp^2} \quad (2.10)$$

Puisque la pression et la température dépendent de l'altitude, ce nombre adimensionnel décrit complètement le système.

Pour introduire les pressions ainsi que les températures du haut et du bas de la tour, il suffit de considérer la différence entre les paramètres. On obtient ainsi :

$$\pi 1 = \frac{P_u}{\Delta P_r^{1/2} \Delta T^2 \rho^{1/2} cp^2} \quad (2.11)$$

En prenant les équations trouvées dans les graphiques plus haut, on obtient :

$$\pi 1 = \frac{P_u}{(12.04H)^{1/2} (0.0093H)^2 \rho^{1/2} cp^2} \quad (2.12)$$

L'expression de la puissance en fonction de la hauteur :

$$\pi 1 = \frac{3332 P_u}{H^{5/2} \rho^{1/2} cp^2} \quad (2.13)$$

En prenant les valeurs des paramètres plus hauts, le nombre π1= 18 892

Pour introduire le diamètre dans le calcul, il faut avoir un autre nombre adimensionnel qui tient compte de la vitesse.

- Ajouter un paramètre additionnel au produit pour former le deuxième nombre adimensionnel.

$$Pr^{a}T^{b}\rho^{c}cp^{d}V^{1} = M^{0}L^{0}T^{0}\theta^{0} \tag{2.14}$$

Équation des exposants :

$$M : a + c = 0 \tag{2.15}$$
$$L : -a - 3c + 2d + 1 = 0 \tag{2.16}$$
$$T : \ 2a - 2d - 1 = 0 \tag{2.17}$$
$$\theta : b - d = 0 \tag{2.18}$$

Donc,

a=0 b=-1/2 c= 0 d=-1/2

Le deuxième nombre adimensionnel est donc :

$$\pi 2 = \frac{V}{\Delta T^{1/2} cp^{1/2}} \tag{2.19}$$

En remplaçant la différence de température par l'équation du graphique de la température en fonction de la hauteur, le nombre adimensionnel devient :

$$\pi 2 = \frac{V}{(0.0093H)^{1/2} cp^{1/2}} \tag{2.20}$$

En considérant un rendement de 100%, on peut remplacer la vitesse par l'expression :

$$V = \sqrt[3]{\frac{8 * P_u}{\rho \pi d^2}} \tag{2.21}$$

Ainsi, le nombre adimensionnel devient :

$$\pi 2 = \frac{2 * P_u^{1/3}}{(0.0093H)^{1/2}\rho^{1/3}\pi^{1/3}d^{2/3}cp^{1/2}} \tag{2.22}$$

$$\pi 2 = \frac{20.73 * P_u^{1/3}}{H^{1/2}\rho^{1/3}\pi^{1/3}d^{2/3}cp^{1/2}} \tag{2.23}$$

Avec les paramètres initiaux du système, la valeur de pi 2 sera :

$$\pi 2 = 3.7 \tag{2.24}$$

Avec ces nombres, il est possible de déterminer quel doit être la grandeur de la tour pour qu'elle produise 10 kW.

$$H = (\frac{3332 P_u}{\pi 1 * \rho^{1/2} cp^2})^{2/5} \tag{2.25}$$

$$H = (\frac{3332 * 10000}{18\,892 * 1.2^{1/2} * 1.007^2})^{2/5} \tag{2.26}$$

$$H = 19.06m \tag{2.27}$$

$$d = (\frac{20.73 * P_u^{1/3}}{\pi 2 * H^{1/2}\rho^{1/3}\pi^{1/3}cp^{1/2}})^{3/2} \tag{2.28}$$

$$d = (\frac{20.73 * 10000^{1/3}}{3.7 * 19.06^{1/2}1.2^{1/3}\pi^{1/3}1.007^{1/2}})^{3/2} \tag{2.29}$$

$$d = 75m \tag{2.30}$$

Ainsi, on peut dire que la tour de convection doit avoir une hauteur de 19m et un diamètre de 75m pour pouvoir produire une puissance de 10 KW. Bien entendu, ces chiffres sont basés sur un prototype qui n'a jamais été testé, on ne peut donc pas s'y fier à 100%, mais cela donne une idée de l'ordre de grandeur que devrait avoir la tour. Si jamais quelqu'un venait à construire le prototype, il suffirait de prendre les paramètres de celui-ci et de refaire la même démarche pour obtenir des dimensions plus exactes. De plus, les données atmosphériques utilisées pour le calcul peuvent varier d'une région à une autre, il faudrait donc s'assurer que les données soient représentatives du milieu dans lequel serait installé un tel prototype.

Une comparaison entre les dimensions de la maison type décrite au chapitre 6 et la tour de conception est fournie à l'annexe 4.

2.2.3 Recommandation et conclusion

Pour terminer, il est important de mentionner que ce genre d'installation est possible et pourrait faire l'objet d'étude plus approfondie, mais avec les résultats obtenus dans les calculs plus haut, on peut facilement se rendre compte que les dimensions de la tour sont beaucoup trop grandes pour la puissance qu'elle produit. Une analyse économique du problème démontrerait clairement qu'il n'est pas actuellement rentable de réaliser le projet étant donné l'énorme quantité de matériaux requis pour construire la tour. Le projet explorera donc une autre avenue pour arriver à produire de l'électricité de façon autonome. Les éoliennes et les panneaux solaires bien qu'ils ne produisent pas une puissance électrique constante, restent des solutions à explorer étant donné leur coût abordable et leur rendement considérable par rapport à la tour de convection

CHAPITRE 3 : Les systèmes de production d'énergie modulaires (éolien, solaire et diesel)

Cette partie décrit l'ensemble des systèmes pouvant servir d'alternative pour l'alimentation autonome d'une maison en énergie verte. La combinaison de ces systèmes va nous permettre de satisfaire les besoins énergétiques de la maison type québécoise décrite dans le chapitre 6.

3.1 Les éoliennes

3.1.1 Introduction

Plusieurs groupes de recherches, et même plusieurs parcs d'éoliennes sont déjà en place un peu partout dans le monde. Au Québec par exemple le Nordais, un parc éolien implanté en Gaspésie et dans la municipalité régionale de comté (MRC) de Matane possède 133 éoliennes, pour une capacité installée totale de 100 mégawatts.

Les éoliennes sont actuellement un mode de production d'énergie en plein essor où la recherche et le développement ne cessent de croître. Les principales composantes d'une éolienne sont présentées ci-dessous.

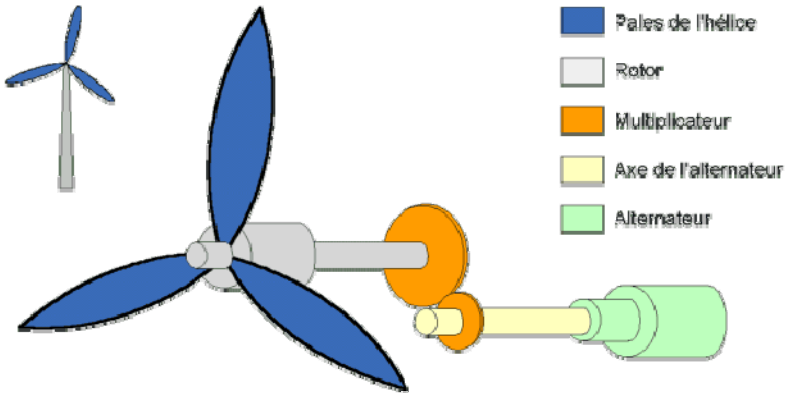


Figure 3.1: Schéma d'une éolienne

La tendance actuelle est à la construction d'éoliennes de taille moyenne regroupées en un même lieu. Une éolienne de taille moyenne comporte en général une hélice à trois pales reliée à un rotor. L'ensemble mesure environ 30 mètres de diamètre. Les pales s'orientent en direction du vent. Le rotor est relié à un multiplicateur qui est un système d'engrenages augmentant la vitesse de rotation. L'alternateur demande en effet une vitesse de rotation élevée pour produire de l'électricité de façon significative. L'alternateur génère ensuite une tension alternative sinusoïdale à sa sortie.

3.1.2 Description fonctionnel des différents types existants :

Il existe 2 types d'éolienne soit à axe vertical ou à axe horizontal. L'éolienne à axe horizontal présente un rendement supérieur à celui à axe vertical et plusieurs avantages sur sa concurrente. Pour ces raisons, on va s'attarder aux différents modes d'entraînement existants pour ce type seulement.

- Turbine éolienne entraînant une génératrice à courant continu :

  La plupart du temps, ce type d'éolienne utilise une boîte de vitesse pour optimiser la vitesse de la turbine d'un facteur de 20 à 30. L'énergie produite par l'éolienne est emmagasinée dans une batterie pour ensuite être transmise à une tension constante. Par contre, la production se limite à quelques kilowatts et ils sont présentement utilisés pour l'éclairage dans les milieux éloignés.
- Turbine éolienne entraînant une génératrice asynchrone à vitesse constante :

  Ce type d'éolienne doit être relié au réseau électrique pour tourner à vitesse constante. En fait, c'est le réseau qui impose la vitesse de la turbine. Pour rentabiliser la vitesse du vent, on utilise

parfois deux enroulements statoriques comportant un nombre différent de pôles. Ainsi, lorsque le vent est faible, c'est le stator ayant le plus de pôles qui est sollicité et lorsque le vent est fort, c'est le stator ayant le moins de pôles qui est utilisé. Ensuite, un banc de condensateur est nécessaire pour fournir la puissance réactive dont la génératrice à besoin. De plus, elle ne peut pas aller chercher la puissance maximale du vent puisque la vitesse de la génératrice doit être constante.

- Turbine éolienne entraînant une génératrice à vitesse variable (celle employée dans le cadre du projet):

Ce type d'éolienne peut tirer le maximum de puissance du vent puisque sa vitesse n'est pas limitée. Son fonctionnement est pareil à la génératrice asynchrone à vitesse constante. Un anémomètre est utilisé pour contrôler le convertisseur qui a pour but de stabiliser la fréquence. Par contre, lorsqu'on connecte le tout à une batterie, la régulation de la fréquence devient plus ou moins importante.

- Turbine éolienne entraînant une génératrice à double alimentation

Ce type d'éolienne utilise un rotor bobiné avec un fonctionnement de type cascade. La fréquence du stator est fixée, car il est connecté au réseau. On peut faire varier la fréquence du rotor avec un convertisseur. Le contrôle de la vitesse du rotor à l'avantage de pouvoir maximiser la puissance produite par l'éolienne.

- Turbine éolienne entraînant une génératrice synchrone à aimants permanents à couplage direct :

La turbine de cette éolienne est à aimant permanent. Sa génératrice est sans boîte de vitesse ce qui implique qu'on doit redresser et onduler la tension pour pouvoir relier l'installation au réseau électrique.

**Un tableau résumé des possibilités de génératrice se trouve à l'annexe 5.

**Dans notre projet, on va considérer seulement l'éolienne entrainant une génératrice asynchrone à vitesse variable. Cette décision s'appuie sur le fait que nous ne sommes pas obligés de contrôler la vitesse du vent et que le coût est moins important.

Avantages et inconvénients :

Tableau 3.1: Avantages et inconvénients des éoliennes

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
- Énergie verte - Ressource renouvelable - Potentiel énergétique élevé - Rentable - Entretien relativement facile - Aucune émission de gaz à effet de serre	- Problème de régulation, constance de production - Dépendance aux conditions météorologiques - Stockage dans des batteries - Investissement considérable - Pollution visuelle et auditive - Durée de vie limitée

*Les éoliennes sont une source d'énergie verte représentant un immense potentiel pour notre projet.

3.1.3 Principe de raccordement au système

L'éolienne est raccordée à un redresseur et un hacheur, pour transformer la tension produite à la tension nécessaire pour recharger les batteries ou effectuer l'électrolyse (cellule à hydrogène). Ensuite, on raccorde le banc de batteries ou la cellule à hydrogène à un onduleur qui va transformer la tension continue en tension alternative désirée.

**Une description du fonctionnement d'un convertisseur, d'une batterie et de l'onduleur à l'annexe 6.

3.2 Les panneaux solaires

3.2.1 Introduction

Un panneau solaire récupère le rayonnement solaire pour le convertir en énergie électrique. Il existe essentiellement deux types de panneaux solaires :

- les panneaux solaires thermiques, appelés capteurs solaires, qui convertissent la lumière en chaleur,
- les panneaux solaires photovoltaïques, appelés modules photovoltaïques, qui convertissent la lumière en électricité

Dans les deux cas, les panneaux sont habituellement plats, avec une longueur et une largeur de quelques mètres, ils sont dimensionnés pour faciliter leur installation et leur prix dépend des caractéristiques désirées et du type d'application, soit domestique ou industrielle. Les panneaux solaires

thermiques sont actuellement plus viables économiquement que les modules photovoltaïques. Les panneaux solaires sont les composants de base de la plupart des équipements de production d'énergie solaire. Les 2 types de panneaux pourraient être utilisés dans le cadre de notre projet, mais l'utilisation (modèle) des panneaux photovoltaïques va être privilégiée.

3.2.2 Fonctionnement des panneaux solaires photovoltaïques

Les panneaux solaires photovoltaïques transforment la lumière en électricité. Ces panneaux sont donc les plus répandus, mais aussi les plus complexes. Ils sont tout simplement un assemblage de cellules photovoltaïques, chacune d'elles délivrant une tension. Elles sont assemblées pour créer des modules photovoltaïques de tension normalisée comme 12V.

La puissance produite dépend de l'intensité de l'ensoleillement et des caractéristiques du panneau.

Un relevé cartographique pour l'intensité lumineuse au Québec au mois de Juin et la durée d'ensoleillement sont fournis à l'annexe 7

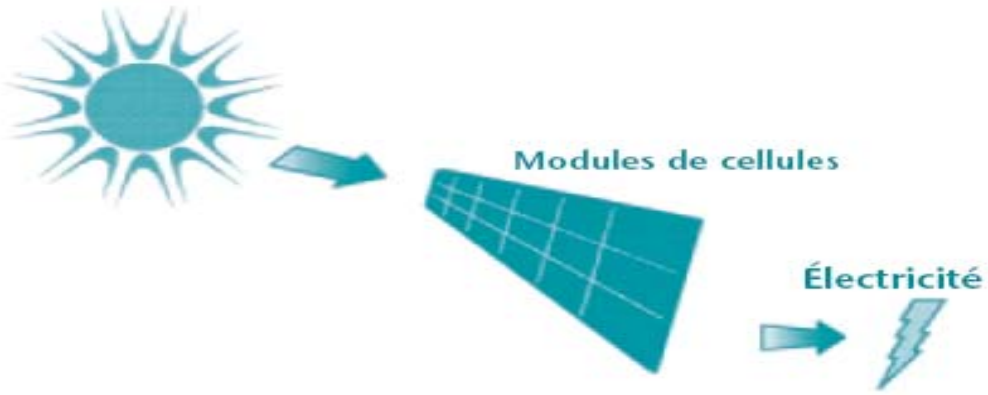


Figure 3.2: Fonctionnement des panneaux solaires photovoltaïques

Avantages et inconvénients :

Tableau 3.2: Avantages et inconvénients des panneaux solaires

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
- Énergie verte - Ressource renouvelable et inépuisable - Potentiel énergétique élevé - Rentable - Entretien relativement facile - Aucune émission de gaz à effet de serre	- Dépendance aux conditions météorologiques - Stockage dans des batteries - Investissement considérable - Pollution visuelle - Rendement presque nul en hiver à moins d'être continuellement déneigés

Une description du hacheur est fournie à l'annexe 6.

3.3 La génératrice au diesel

3.3.1 Introduction

Lorsque les demandes en énergie sont trop importantes, lorsque le système est en maintenance ou en réparation, une génératrice devient très importante pour répondre au besoin énergétique pendant ce temps. Cet équipement est donc un élément important du système. La génératrice est un élément sécuritaire et facile d'utilisation avec un rendement élevé. De plus, il est possible de récupérer un maximum de puissance lors de son fonctionnement en rechargeant les batteries ou en créant de l'hydrogène. Par contre, au point de vue de l'environnement, la génératrice est à éviter. Pour cette raison, il faut optimiser l'utilisation des ressources renouvelables avec l'aide d'éolienne, de panneau solaire et tout autre système de production d'énergie verte.

3.3.2 Fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'une génératrice à combustion est plutôt simple, il y a un moteur thermique fonctionnant au diesel(ou au gaz) qui fait tourner un alternateur qui crée un courant électrique alternatif. Il y a des disjoncteurs protégeant le système d'une surcharge ou de l'arrêt en charge lors d'épuisement de carburant.

La génératrice au diesel comporte plusieurs avantages par rapport à la génératrice à gaz, comme le fait qu'elle n'a aucun système d'allumage, que la combustion s'effectue à l'aide d'une compression, ainsi qu'un meilleur rendement, une longévité plus grande, un moindre coût d'opération et un moindre coût d'entretien.

Les différences fondamentales entre le fonctionnement d'un moteur à gaz et d'un moteur au diesel sont :

- Un moteur à essence prend un mélange d'essence et d'air, le comprime et allume le mélange avec une étincelle. Le moteur diesel ne prend que de l'air comprimé avant d'injecter le carburant dans l'air. La chaleur et la pression de l'air comprimé suffisent à allumer le carburant. Il n'a pas de bougie d'allumage.

- Les moteurs à essence ont un taux de compression entre 8:1 et 12:1, alors que les moteurs diesel ont un taux de compression nettement plus élevé: entre 14:1 et 25:1. Ce taux de compression d'air nettement plus élevé assure un meilleur rendement.

Avantages et inconvénients :

Tableau 3.3: Avantages et inconvénients de la génératrice au diesel

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
- Potentiel énergétique élevé - Source d'énergie fiable et constante - Besoin d'entretien presque inexistant - Transportable - Polyvalent	- Pollution visuelle et sonore - Émission de gaz à effet de serre - Approvisionnement en combustible peut être difficile en région éloignée

3.3.3 Principe de raccordement au système

La génératrice fournit directement la tension alternative au système sans le biais d'aucun convertisseur. Son raccordement se fait à l'aide d'une By-passSwitch. Lors de son utilisation, l'énergie produite va permettre de recharger les batteries du système à l'aide d'un chargeur et voir à la satisfaction des besoins énergétiques de la maison.

CHAPITRE 4 : Modélisation des sous-systèmes de la centrale modulaire

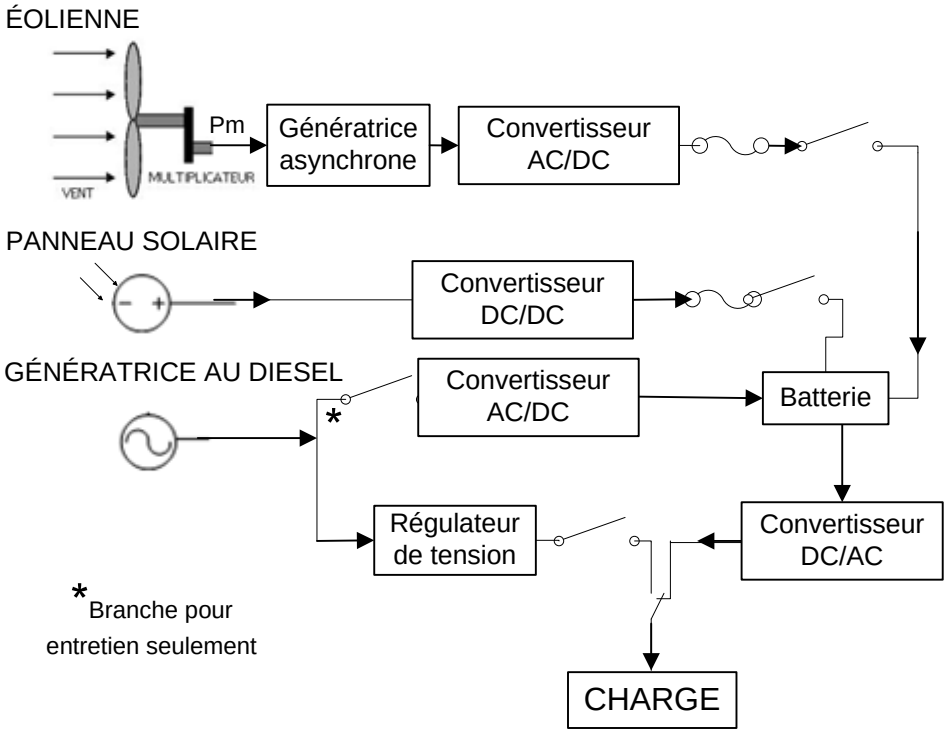


Figure 4.1: Synoptique complet du système de production (éolien/solaire/diesel)

4.1 Description du fonctionnement idéal dans le cadre de notre mandat

Pour notre mandat, le fonctionnement idéal du système est assez simple. Il faut réussir à alimenter la maison avec seulement l'éolienne et les panneaux solaires. Dans les conditions idéales, la génératrice doit seulement servir lors de situations très particulières et/ou lorsqu'on effectue des travaux de maintenance sur le système (génératrice=mode urgence).

4.2 Les éoliennes

Dans cet ouvrage, l'éolienne est considérée comme un couplage entre une turbine éolienne et une génératrice asynchrone.

L'équation utile à savoir pour l'éolienne, c'est la puissance qu'elle développe en fonction de la vitesse du vent. La puissance du vent est en fait la quantité d'énergie que celui-ci peut fournir en une seconde. Avec l'équation de l'énergie cinétique :

$$E = \frac{mv^2}{2} \tag{4.1}$$

L'expression de la puissance du vent peut être trouvée en divisant l'énergie par le temps. Dans ce cas-ci, pour introduire l'unité de temps au dénominateur, on remplace la masse par le débit massique. L'expression devient donc :

$$P_{vent} = \frac{\dot{m}V^2}{2} \tag{4.2}$$

Pour déterminer le débit massique du vent, on multiplie le débit volumique de celui-ci par sa densité volumique.

$$\dot{m} = \dot{Q} * \rho \tag{4.3}$$

Le débit volumique est obtenu en multipliant la surface couverte par le vent par sa vitesse :

$$\dot{Q} = V * A = V * \frac{\pi d^2}{4} \tag{4.4}$$

En remplaçant l'expression du débit volumique dans l'expression du débit massique, celle-ci devient :

$$\dot{m} = V * \frac{\pi d^2}{4} * \rho \tag{4.5}$$

En remplaçant l'expression du débit volumique dans l'expression de la puissance du vent, celle-ci devient :

$$P_{vent} = \frac{\rho \pi d^2 V^3}{8} \tag{4.6}$$

Puisque la turbine ne récupère qu'une partie de la puissance du vent, il faut introduire un coefficient de performance dans l'équation précédente.

$$P_{éol} = C_p P_{vent} = \frac{C_p \rho \pi d^2 V^3}{8} \tag{4.7}$$

Le coefficient de performance dépend de l'angle avec lequel le vent frappe les pâles et du rapport entre la vitesse des pâles et celle du vent.

$$cp(\lambda,\beta) = 0.5176\left(\frac{116}{\lambda_i} - 0.4\beta - 5\right) * e^{\frac{-21}{\lambda_i}} + 0.0068\lambda \tag{4.8}$$

Avec

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \tag{4.9}$$

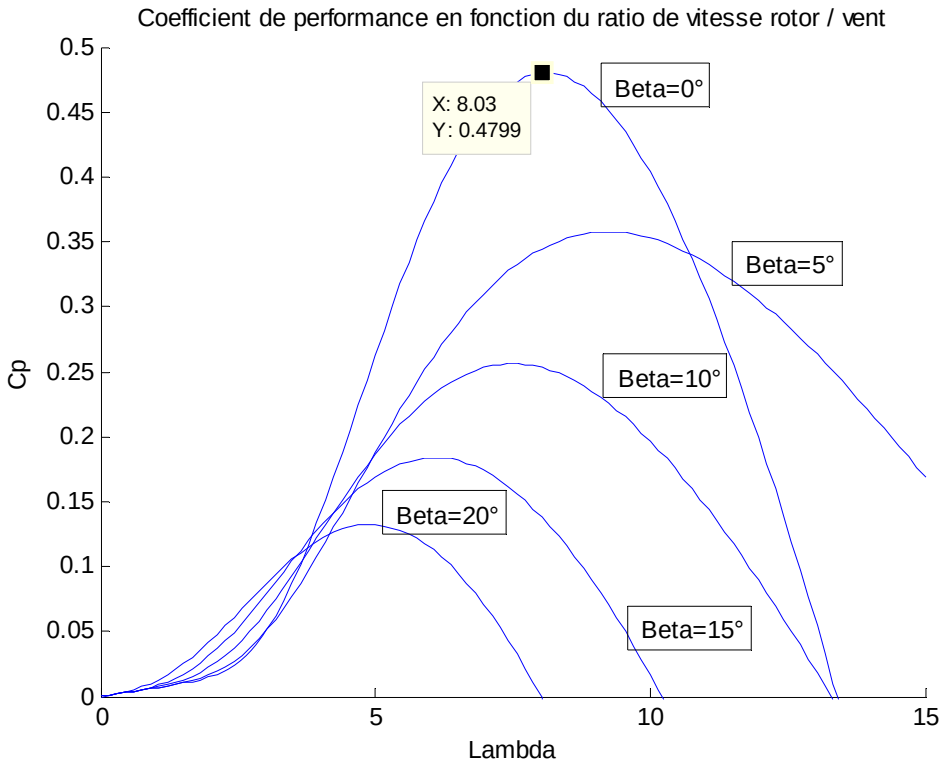


Figure 4.2: Coefficient de performance en fonction du ratio vitesse rotor/vent

Dans les simulations, l'angle d'attaque entre le vent et les pâles est considéré à zéro, car l'éolienne est munie d'une girouette. Ainsi, le coefficient de performance est maximale lorsque l'angle est à 0 degrés.

Le couple mécanique qui entraînera la génératrice peut être déduit :

$$T_m = \frac{P_{éol}}{\omega} = \dot{m}Vcp * \frac{r}{2} = \frac{\rho V^2 \pi d^2}{4} * \frac{r}{2} * cp = \frac{\rho V^2 \pi * cp * r^3}{2} \tag{4.10}$$

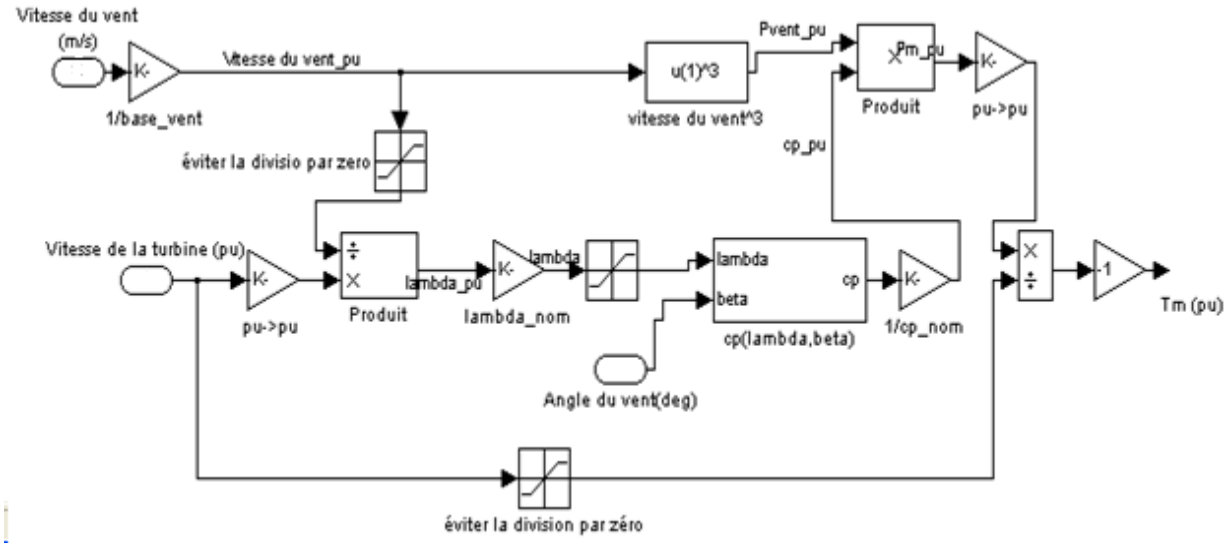


Figure 4.3: Schéma bloc de la turbine de l'éolienne

Ce bloc représente bien les équations (4.1) à (4.10) Les paramètres en entrées sont la vitesse du vent, la vitesse de la turbine et l'angle entre le vent et les pales. Le paramètre de sortie est le couple mécanique de la turbine. La vitesse du vent est divisée en deux parties à l'entrée, la partie du haut est élever à la puissance 3 dans le but de calculer la puissance brute du vent tandis que la partie du bas sert à calculer le paramètre λ qui est le rapport entre la vitesse du vent et la vitesse des pâles de l'éolienne. Avec ce rapport et l'angle entre le vent et les pâles, le paramètre λ_i peut être trouvé. Celui-ci servira ensuite pour le calcul du coefficient de performance. Avec ce coefficient, la puissance de la turbine est trouvée en multipliant C_p par la puissance du vent trouvé précédemment. Ensuite le couple est trouvé en divisant la puissance de la turbine par la vitesse de la turbine.

4.2.1 Alternateur de l'éolienne : Génératrice asynchrone (machine asynchrone)

Le bloc d'opération représentant la machine asynchrone peut fonctionner en deux modes. Le mode de fonctionnement est dicté par le signe du couple mécanique. Si celui-ci est positif, la machine se comporte comme un moteur et s'il est négatif, elle se comporte comme une génératrice. La partie électrique de la machine est mise en équation ainsi que la partie mécanique.

4.2.1.1 Partie électrique :

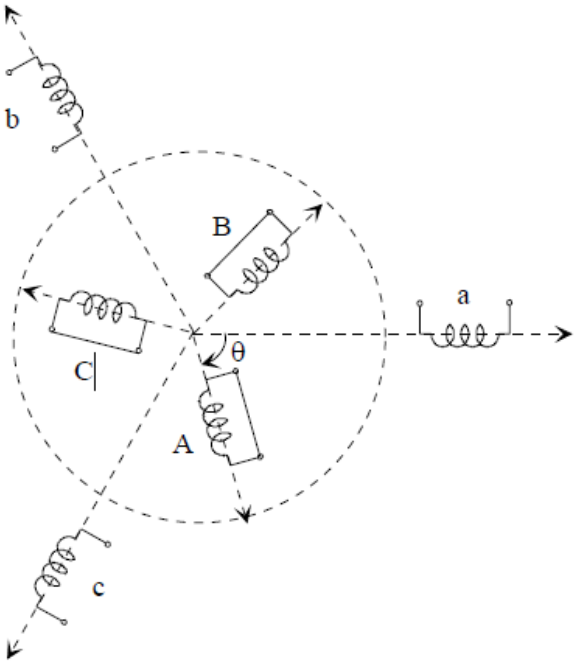


Figure 4.4 : Schématisation des différents enroulements d'une machine asynchrone à simple cage d'écureuil

En assumant que la machine asynchrone présente une isotropie, on peut dire que :

- Les inductances propres sont constantes
- Les inductances mutuelles rotor-rotor et stator-stator sont constantes
- Les inductances mutuelles seulement rotor-stator dépendent de l'angle

En utilisant la loi d'Ohm généralisée aux bornes des enroulements du stator et du rotor, les équations des tensions deviennent :

Pour le stator :

$$v_a = -R_a * i_a + \frac{d\psi_a}{dt} \tag{4.11}$$

$$v_b = -R_a * i_b + \frac{d\psi_b}{dt} \tag{4.12}$$

$$v_c = -R_a * i_c + \frac{d\psi_c}{dt} \tag{4.13}$$

Pour le rotor :

$$0 = R_A * i_A + \frac{d\psi_A}{dt} \tag{4.14}$$

$$0 = R_A * i_B + \frac{d\psi_B}{dt} \tag{4.15}$$

$$0 = R_A * i_C + \frac{d\psi_C}{dt} \tag{4.16}$$

En appliquant, la transformée de Park et en ramenant le tout dans ce nouveau référentiel, on obtient :

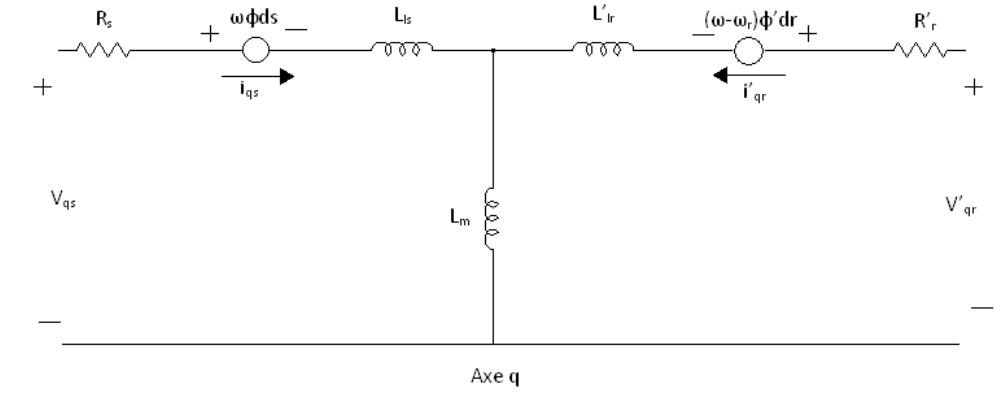


Figure 4.5: Schéma de la partie électrique ramené sur l'axe q

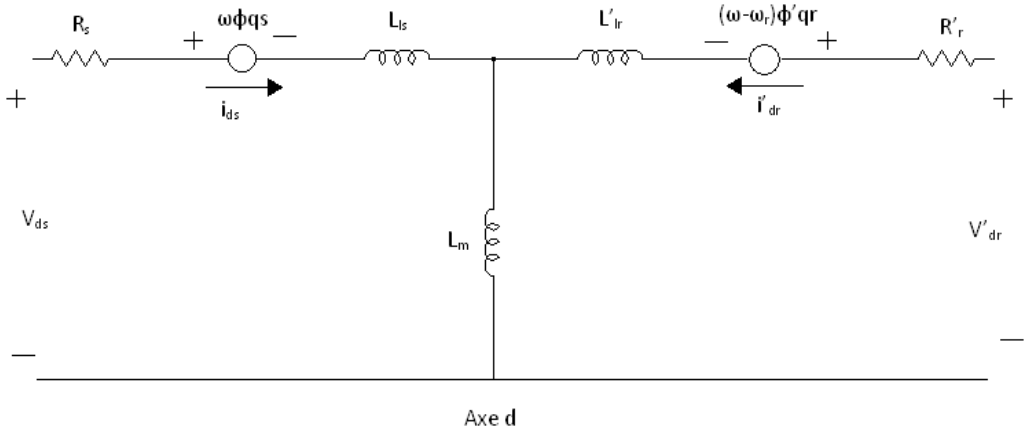


Figure 4.6: Schéma de la partie électrique ramené sur l'axe d

Les équations dans ce référentiel deviennent donc :

$$V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt}\psi_{qs} + \omega\psi_{ds} \tag{4.17}$$

$$V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt}\psi_{ds} - \omega\psi_{qs} \tag{4.18}$$

$$V_{qr} = R_r i_{qr} + \frac{d}{dt}\psi'_{qr} + (\omega - \omega_r)\psi_{dr} \tag{4.19}$$

$$V_{dr} = R_r i_{dr} + \frac{d}{dt}\psi_{dr} - (\omega - \omega_r)\psi_{qr} \tag{4.20}$$

$$T_e = 1.5p(\psi_{ds} i_{qs} - \psi_{qs} i_{ds}) \tag{4.21}$$

Où

$$\psi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i_{qr} \tag{4.22}$$

$$\psi_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i_{dr} \tag{4.23}$$

$$\psi'_{qr} = L_r i_{qr} + L_m i_{qs} \tag{4.24}$$

$$\psi'_{dr} = L_r i_{dr} + L_m i_{ds} \tag{4.25}$$

$$L_s = L_{ls} + L_m \tag{4.26}$$

$$L_r = L_{ir} + L_m \tag{4.27}$$

Comme indiqué dans les circuits électriques ci-haut, les indices d et q sont toujours liés au flux magnétique. De plus, le lien entre la partie mécanique et électrique dépend du champ magnétique.

Ainsi, pour la machine asynchrone en prenant la variable i comme variable de référence, le système d'équations de la partie électrique sous forme matricielle dans le référentiel de Park devient :

$$\begin{bmatrix} V_{qs} \\ V_{ds} \\ V'_{qr} \\ V'_{dr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & \omega L_s & 0 & \omega L_m \\ -\omega L_s & R_s & -\omega L_m & 0 \\ 0 & (\omega - \omega_r)L_m & R'_r & (\omega - \omega_r)L'_r \\ -(\omega - \omega_r)L_m & 0 & -(\omega - \omega_r)L'_r & R'_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i'_{qr} \\ i'_{dr} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_s & 0 & L_m & 0 \\ 0 & L_s & 0 & L_m \\ L_m & 0 & L'_r & 0 \\ 0 & L_m & 0 & L'_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\imath}_{qs} \\ \imath_{ds} \\ \imath'_{qr} \\ \imath'_{dr} \end{bmatrix} \tag{4.28}$$

$$\vec{V} = [X]\vec{\imath} + [L]\frac{d\vec{\imath}}{dt} \tag{4.29}$$

En prenant i comme variable d'état, l'équation devient :

$$\frac{d\vec{\imath}}{dt} = -[L]^{-1}[X]\vec{\imath} + [L]^{-1}\vec{V} \tag{4.30}$$

Le modèle d'état:

$$\frac{dx}{dt} = [A]X + [B]U \tag{4.31}$$

$$y = [C]X + [D]U \tag{4.32}$$

Avec :

$$[A] = -[L]^{-1}[X] \tag{4.33}$$

$$[B] = [L]^{-1} \tag{4.34}$$

$$[C] = \begin{matrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix} \tag{4.35}$$

Avec les matrices A, B, C, D du modèle d'état, il est possible de déterminer la fonction de transfert du système complet, d'où leur utilité.

4.2.1.2 Partie mécanique :

$$\frac{d}{dt}\omega_m = \frac{1}{2H}(T_e - F\omega_m - T_m) \tag{4.36}$$

$$\frac{d}{dt}\theta_m = \omega_m \tag{4.37}$$

Les paramètres de la machine asynchrone sont définis comme suit (toutes les quantités font référence au stator) :

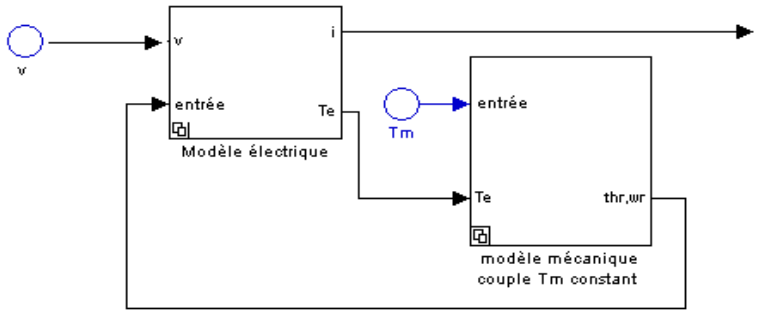


Figure 4.7 : Schéma bloc de la machine asynchrone

Ce schéma montre le lien qui existe entre la partie électrique et mécanique de la machine asynchrone. Le couple électromécanique entraine le rotor et la vitesse de celui-ci influence la tension induite au stator. La partie mécanique pourrait donc être vue comme la rétroaction du système complet. Le bloc du modèle électrique contient la fonction de transfert qui a été déterminée à partir des matrices A, B, C, D. Le bloc du modèle mécanique contient quant à lui les équations (4.36) et (4.37).

4.3 Les panneaux solaires

Le circuit équivalent le plus simple pour la modélisation d'un panneau solaire est une source de courant en parallèle avec une diode.(réf.12)

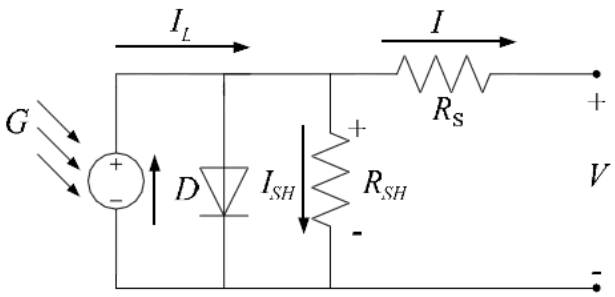


Figure 4.8 : Circuit équivalent pour modéliser un panneau solaire

Le courant produit est influencé par plusieurs paramètres :

- L'intensité de la lumière
- Température
- Résistances en série
- Le facteur de la diode (du système)
- Le rendement du système

Hypothèse :

1- La résistance R_{SH} est négligeable (égale à 0).
2- Panneau solaire idéal

Équations :

$$I = I_L - I_0\left(e^{\frac{q(V+IR_S)}{nkT}} - 1\right) \tag{4.38}$$

Influence de la température sur le courant photovoltaïque :

$$I_L = I_L(T_1) + K_0(T - T_1) \tag{4.39}$$

$$I_L(T_1) = I_{SC}(T_{1,nom})\frac{G}{G(nom)} \tag{4.40}$$

$$K_0 = \frac{I_{SC}(T_2) - I_{SC}(T_1)}{T_2 - T_1} \tag{4.41}$$

$$I_0(T_1) = \frac{I_{SC}(T_1)}{(e^{\frac{qV_{co}(T_1)}{nkT_1}} - 1)} \tag{4.42}$$

Le courant de court-circuit $I_{SC}(T_1)$ est le courant maximal produit lors d'un court-circuit, lorsque V=0 à la température désirée.

La tension en circuit ouvert s'obtient ainsi :

$$V_{co} = \frac{nkT}{q}\ln\left(\frac{I_L}{I_0}\right) \tag{4.43}$$

La tension de sortie en fonction de la température et du courant :

$$V = \frac{Puissance}{courant\ de\ sortie} = \frac{nkT}{q}\ln\left(\frac{I_L}{I_0}\right) \tag{4.44}$$

La tension de sortie avec des données d'entrée, intensité et de température constante :

$$V\ (\text{intensité, température, temps}) = \text{constante} \tag{4.45}$$

Le rendement maximum :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{I_{max}V_{max}}{AG_a} \tag{4.46}$$

Facteur de remplissage :

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{co}I_{sc}} \tag{4.47}$$

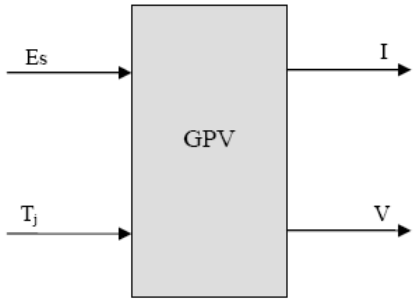


Figure 4.9 : Schéma bloc du panneau solaire

Es = Ensoleillement
T_j = Température à la jonction des cellules
I et V = le courant et la tension générés

4.4 La génératrice au diesel

La génératrice au diésel est considérée comme un couplage entre un moteur diésel et une génératrice synchrone.

4.4.1 Alternateur de la génératrice au diesel (machine synchrone)

Tout comme la machine asynchrone, la génératrice synchrone peut fonctionner en mode génératrice et moteur. Le mode d'opération est déterminé par le signe de la puissance mécanique (positif pour le fonctionnement en mode génératrice et négatif pour le fonctionnement en mode moteur). La partie électrique est représentée par un système d'ordre 6 et la partie mécanique par un système d'ordre 2. Les indices qui seront utilisés sont définis comme suit :

Tableau 4.1:Indice pour la partie électrique de la génératrice

	Définition
d	Quantité liée à l'axe d
q	Quantité liée à l'axe q
R	Quantité liée au rotor
s	Quantité liée au stator
L	Inductance
m	Magnétisation
f	Champs

4.4.1.1 Partie électrique :

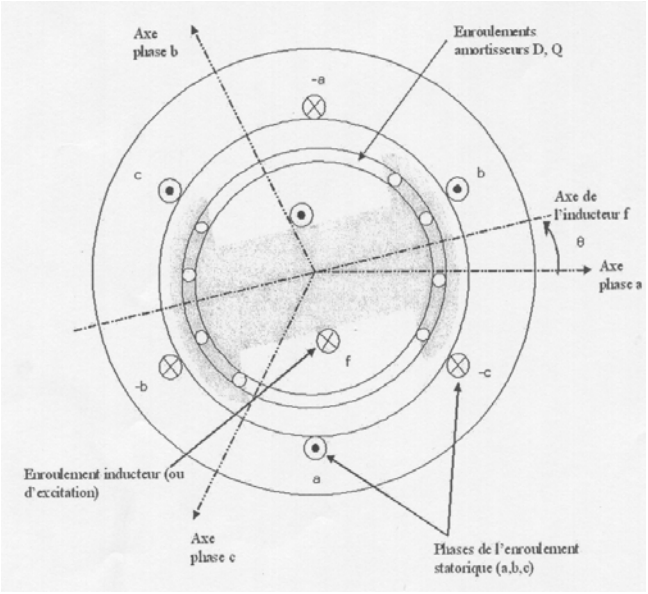


Figure 4.10: Schématisation d'un alternateur synchrone

Les équations pour les tensions de phase au stator et au rotor pour une machine synchrone se présentent mieux sous l'aspect matriciel vu la complexité des équations.

$$v = Ri + \frac{d}{dt} \tag{4.48}$$

$$\begin{bmatrix} v_s^{abc} \\ v_r^{abc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0_{3,3} \\ 0_{3,3} & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s^{abc} \\ i_r^{abc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \psi_s^{abc} \\ \psi_r^{abc} \end{bmatrix} \tag{4.49}$$

$$\begin{bmatrix} v_s^{abc} \\ v_r^{abc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0_{3,3} \\ 0_{3,3} & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s^{abc} \\ i_r^{abc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \left[\begin{pmatrix} -L_{ss}^{abc}(\theta) & L_{sr}^{abc}(\theta) \\ (-L_{sr}^{abc}(\theta))^t & L_{rr} \end{pmatrix} i \right] \tag{4.50}$$

Avec

$$R_s = \begin{bmatrix} r_a & 0 & 0 \\ 0 & r_a & 0 \\ 0 & 0 & r_a \end{bmatrix} et\ R_f = \begin{bmatrix} r_f & 0 & 0 \\ 0 & r_D & 0 \\ 0 & 0 & r_Q \end{bmatrix} \tag{4.51}$$

Et les matrices d'inductances suivantes :

$$L_{ss}^{abc}(\theta) = \begin{bmatrix} L_{aa0} + L_a + L_{aa2}\cos 2\theta & -\frac{1}{2}L_{aa0} + L_{aa2}\cos\left(2\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\frac{1}{2}L_{aa0} - L_{aa2}\cos\left(2\theta - \frac{\pi}{3}\right) \\ -\frac{1}{2}L_{aa0} + L_{aa2}\cos\left(2\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & L_{aa0} + L_a + L_{aa2}\cos 2\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\frac{1}{2}L_{aa0} - L_{aa2}\cos(2\theta - \pi) \\ -\frac{1}{2}L_{aa0} - L_{aa2}\cos\left(2\theta - \frac{\pi}{3}\right) & -\frac{1}{2}L_{aa0} - L_{aa2}\cos(2\theta - \pi) & L_{aa0} + L_a + L_{aa2}\cos 2\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix}; \tag{4.52}$$

$$L_{sr}^{abc}(\theta) = \left(L_{rs}^{abc}(\theta)\right)^{t} = \begin{bmatrix} L_{af0}\cos\theta & L_{aD0}\cos\theta & -L_{aQ0}\sin\theta \\ L_{af0}\cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) & L_{aD0}\cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) & -L_{aQ0}\sin\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) \\ L_{af0}\cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) & L_{aD0}\cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) & -L_{aQ0}\sin\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \quad (4.53)$$

$$L_{sr}^{abc}(\theta) = \left(L_{rs}^{abc}(\theta)\right)^{t} = \begin{bmatrix} L_{af0}\cos\theta & L_{aD0}\cos\theta & -L_{aQ0}\sin\theta \\ L_{af0}\cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) & L_{aD0}\cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) & -L_{aQ0}\sin\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) \\ L_{af0}\cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) & L_{aD0}\cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) & -L_{aQ0}\sin\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \quad (4.54)$$

En transformant le système avec la transformation de Park, le circuit équivalent devient :

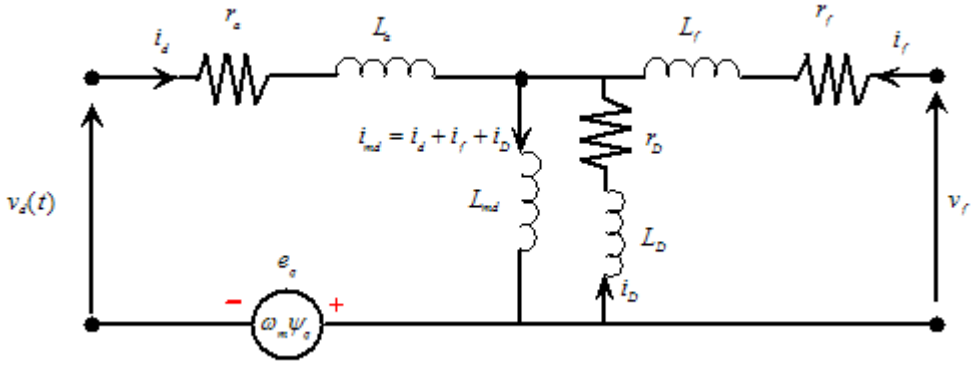


Figure 4.11:Circuit équivalent avec la transformée de Park (1/2)

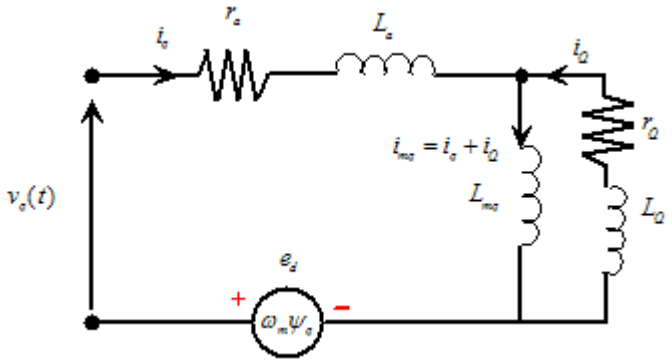


Figure 4.12:Circuit équivalent avec la transformée de Park (suite 2/2)

Pour la machine synchrone, le système d'équation de la partie électrique, dans le système de référence de Park, devient :

Au stator

$$v_{sd}(t) = -r_a i_d(t) + \frac{d}{dt}\psi_d(t) - \omega_m \psi_q(t) \tag{4.55}$$

$$v_{sq}(t) = -r_a i_q(t) + \frac{d}{dt}\psi_q(t) - \omega_m \psi_d(t) \tag{4.56}$$

$$v_{sQ}(t) = -r_Q i_{sQ}(t) + \frac{d}{dt}\psi_Q(t) \tag{4.57}$$

Au rotor

$$v_f(t) = r_f i_f(t) + \frac{d}{dt}\psi_f(t) \tag{4.58}$$

$$0 = r_D i_D(t) + \frac{d}{dt}\psi_D(t) \tag{4.59}$$

$$0 = r_{rQ} i_Q(t) + \frac{d}{dt}\psi_Q(t) \tag{4.60}$$

$$\begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \\ V_0 \\ V_f \\ V_{rd} \\ V_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r_a & -\omega_m L_q & 0 & 0 & -\omega_m L_{mq} & -\omega_m L_{mq} \\ \omega_m L_d & -r_a & \omega_m L_{md} & \omega_m L_{md} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -r_{sQ} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r_D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & r_{rQ} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_{sQ} \\ i_f \\ i_D \\ i_Q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{sd} & 0 & L_{md} & L_{md} & 0 & 0 \\ 0 & L_{sq} & 0 & 0 & L_{md} & L_{md} \\ L_{md} & 0 & L_{fd} & L_{md} & 0 & 0 \\ L_{md} & 0 & L_{md} & L_{rd} & 0 & 0 \\ 0 & L_{mq} & 0 & 0 & L_{rq} & 0 \\ 0 & L_{mq} & 0 & 0 & 0 & L_Q \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_{sQ} \\ i_f \\ i_D \\ i_{rQ} \end{bmatrix} \tag{4.61}$$

$$\vec{V} = [X]\vec{\imath} + [L]\frac{d\vec{\imath}}{dt} \tag{4.62}$$

En prenant i comme variable d'état, l'équation devient :

$$\frac{d\vec{\imath}}{dt} = -[L]^{-1}[X]\vec{\imath} + [L]^{-1}\vec{V} \tag{4.63}$$

Le modèle d'état:

$$\frac{dx}{dt} = [A]X + [B]U \tag{4.64}$$

$$y = [C]X + [D]U \tag{4.65}$$

Avec :

$$[A] = -[L]^{-1}[X] \tag{4.66}$$

$$[B] = [L]^{-1} \tag{4.67}$$

$$[C] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{4.68}$$

4.4.1.2 Partie mécanique

La partie mécanique de la génératrice synchrone est décrite par :

$$\Delta\omega(t) = \frac{1}{2H}\int_0^t (T_m - T_e)dt - Kd\Delta\omega(t) \tag{4.69}$$

$$\omega(t) = \Delta\omega(t) + \omega_0 \tag{4.70}$$

Avec

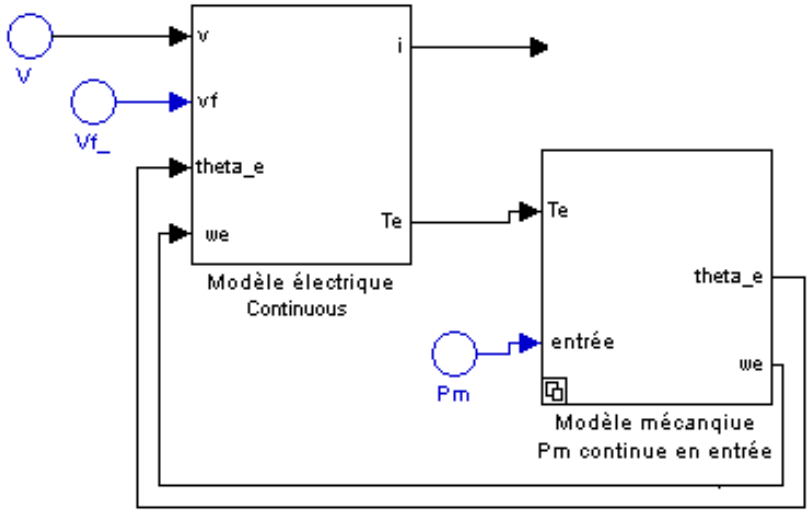


Figure 4.13: Schéma bloc de la génératrice synchrone

Comme pour la machine asynchrone, la partie mécanique de la machine synchrone peut être vue comme une rétroaction. Encore une fois, le bloc électrique contient la fonction de transfert qui a été déterminée à partir des matrices A, B, C, D. Le bloc mécanique contient les équations (4.69) et (4.70).

4.4.2 Moteur au diésel :

Le modèle global du moteur au diesel est décrit par six équations différentielles décrivant les cinq blocs constituant le moteur soit :

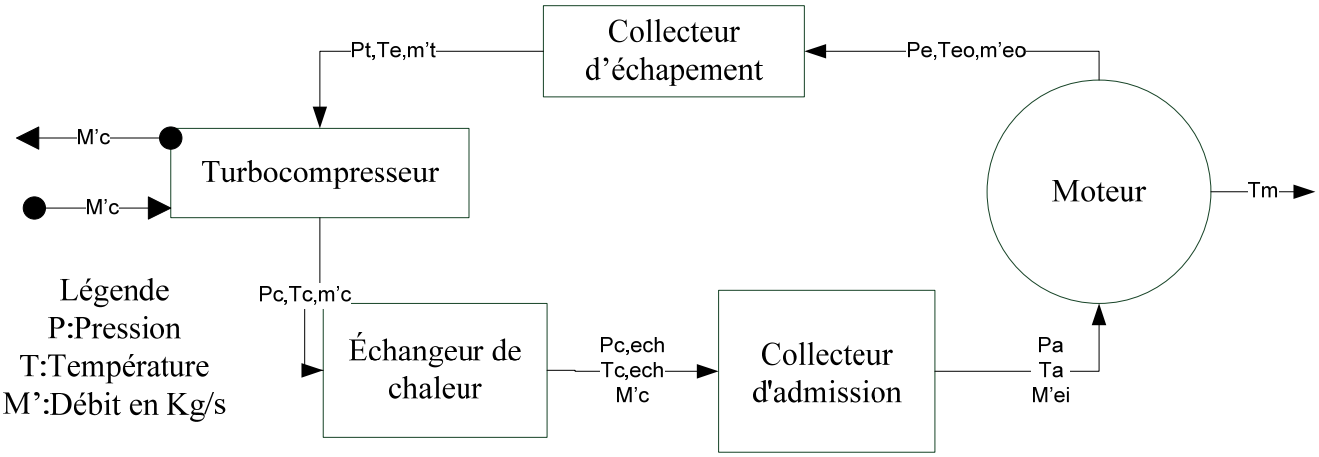


Figure 4.14: Schéma détaillé du moteur M1 définissant les différentes notations utilisées

Le collecteur d'admission est la partie qui fait entrée le fluide comprimer dans le moteur à un débit massique m'_{el} et à une pression P_a.

$$\frac{dP_a}{dt} = \frac{r\gamma_a}{V_a}(\dot{m}_c T_{c,ech} - \dot{m}_{el} T_a) \tag{4.71}$$

Le collecteur d'échappement recueil les gaz à la sortie du moteur à une pression P_e et un débit massique m'_{eo}.

$$\frac{dP_e}{dt} = \frac{r\gamma_e}{V_e}((\dot{m}_{ei} + \dot{m}_f)T_{eo} - \dot{m}_t T_e)) \tag{4.72}$$

Il est possible d'établir des relations entre les débits massiques du système à l'aide du principe de conservation de la masse.

(Collecteur d'admission)

$$\frac{dm_a}{dt} = \dot{m}_a = \dot{m}_c - \dot{m}_{ei} \tag{4.73}$$

(Collecteur d'échappement)

$$\frac{dm_e}{dt} = \dot{m}_e = \dot{m}_{ei} + \dot{m}_f - \dot{m}_t \tag{4.74}$$

Le modèle du moteur est développé à partir du mouvement du vilebrequin. Ce modèle est fonction de l'inertie J du moteur et de sa vitesse ω. Bien entendu, la vitesse du moteur varie en fonction du débit massique du gaz qui entre dans le moteur m'_f et d'un certain rendement η_e.

$$J_{vil} * \omega * \frac{d\omega}{dt} = \eta_e \dot{m}_f P_{ci} - C_r \omega \tag{4.75}$$

Le turbocompresseur est la partie qui gère l'entrée des fluides extérieurs et la sortie des fluides intérieurs. À l'entrée, les fluides sont comprimés et ils sont détendus à la sortie. Ce modèle tient en compte la vitesse ω_{tc} du turbocompresseur et sont inertie I_{tc}. Encore une fois, le débit massique et le rendement ont une influence la vitesse du turbocompresseur.

$$\frac{d\omega_{tc}}{dt} = \frac{1}{I_{tc}\omega_{tc}} (\eta_m \dot{m}_t C_{pe} T_e \left(1 - \pi_t^{\frac{\gamma_{e-1}}{\gamma_e}}\right) \eta_t - \dot{m}_c C_{pa} T_0 (\pi_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1) \frac{1}{\eta_c} \tag{4.76}$$

Dans les simulations qui sont effectuées, seul le modèle du vilebrequin est utile, car le modèle utilisé ne tient pas en compte la consommation d'essence. La vitesse du moteur est limitée par une vitesse maximum $\Omega_{max.}$ La puissance maximale que le moteur peut développer est à la vitesse nominale Ω_0. Définissons $\omega=\Omega/\Omega_0$ et $P(\Omega)=P_{max}*p(\omega)$. La puissance est le produit du couple par la vitesse angulaire. L'expression du couple est donc :

$$\tau_{max} = g(\omega) = \left(\frac{P_{max}}{\Omega_0}\right) * p(\omega)/\omega \tag{4.77}$$

L'équation utilisée pour le modèle du moteur est :

$$p(\omega) = p1 * \omega + p2 * \omega^2 + p3 * \omega^3 \tag{4.78}$$

Et doit satisfaire la condition :

$$p1 + p2 - p3 = 1 \; et \; p1 + 2p2 - 3p3 = 0 \tag{4.79}$$

CHAPITRE 5 : Résultats des simulations et discussion

5.1 Simulation des performances de chaque système modulaire

5.1.1 Le système éolien

5.1.1.1 Simulation 1 : Le couple généré en PU en fonction de la vitesse d'entrée du vent

Données caractéristiques :

1- L'angle entre le vent et les pales est de 0 degré.
2- Vitesse du générateur : vitesse nominale de celui-ci

Donnée d'entrée :

1- La vitesse du vent en mètres par seconde

Donnée de sortie :

1- Le couple généré par l'éolienne

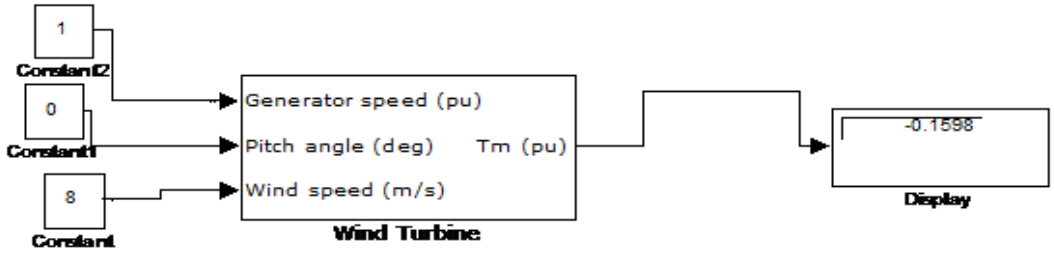


Figure 5.1: Modèle matlab pour l'éolienne

Résultats :

Tableau 5.1:Résultat de la simulation pour la turbine de l'éolienne

Vitesse d'entrée (m/s)	8	10	12	14
Couple mécanique à la sortie (en PU)	-0.1598	-0.3802	-0,5976	-0,7694

**Les résultats montrent que plus la vitesse d'entrée augmente plus le couple à la sortie augmente. Le couple va ensuite entrainer la génératrice asynchrone qui va créer la puissance électrique du système éolien. Le signe négatif est seulement présent pour forcer la machine asynchrone à fonctionner en génératrice.

5.1.1.2 Simulation 2 : La puissance produite par la génératrice asynchrone entrainée par l'éolienne

Données caractéristiques :

1- L'angle entre le vent et les pales est de 0 degré.
2- Génératrice synchrone de 20 HP, 460 V, 60 Hz, 1760 rpm
3- Charge de 1000 Watts

Données d'entrées :

4- La vitesse du vent en mètres par seconde (12 m/s)
5- Couple mécanique à l'entrée de la génératrice de 17,75 N*m

Donnée de sortie :

6- La puissance électrique à la charge
7- La vitesse de rotation de la génératrice
8- La tension à la charge
9- Le courant à la charge

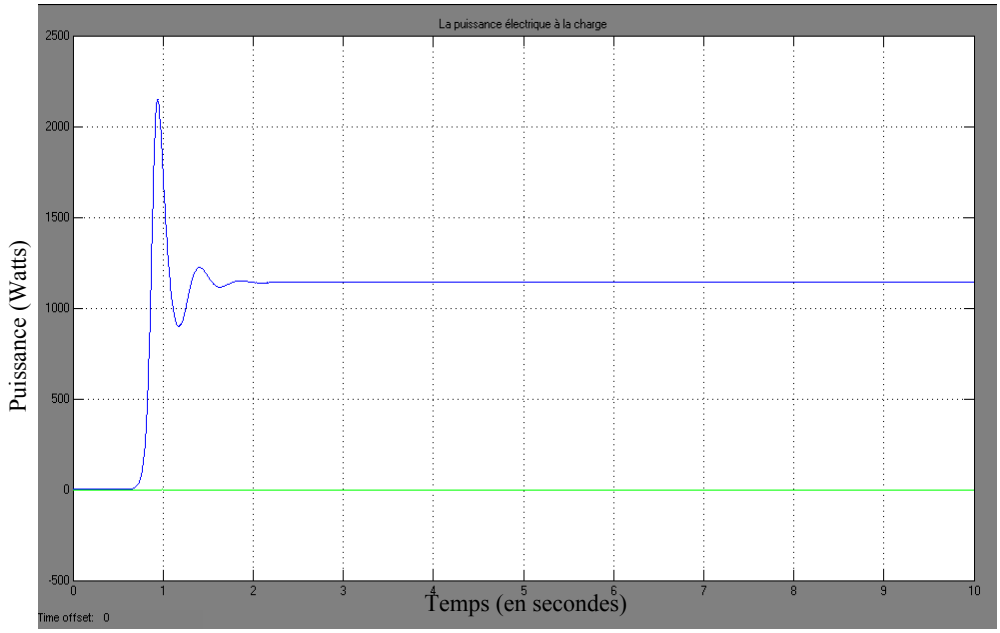


Figure 5.2:La puissance électrique fournit par l'éolienne en fonction du temps

La puissance consommée par la charge est maximale lors de l'amorçage à 2150 watts et devient ensuite constante entre 1140 et 1142 watts en régime permanent. La charge ne consomme pas exactement 1000W car les paramètres de celle-ci ne sont pas ajustés pour recevoir la tension non régulée à la sortie de l'éolienne. La puissance élevée au démarrage résulte de l'instabilité du système lors de l'amorçage.

5.1.1.3 Simulation 3 : La vitesse de rotation de la génératrice asynchrone entrainée par l'éolienne

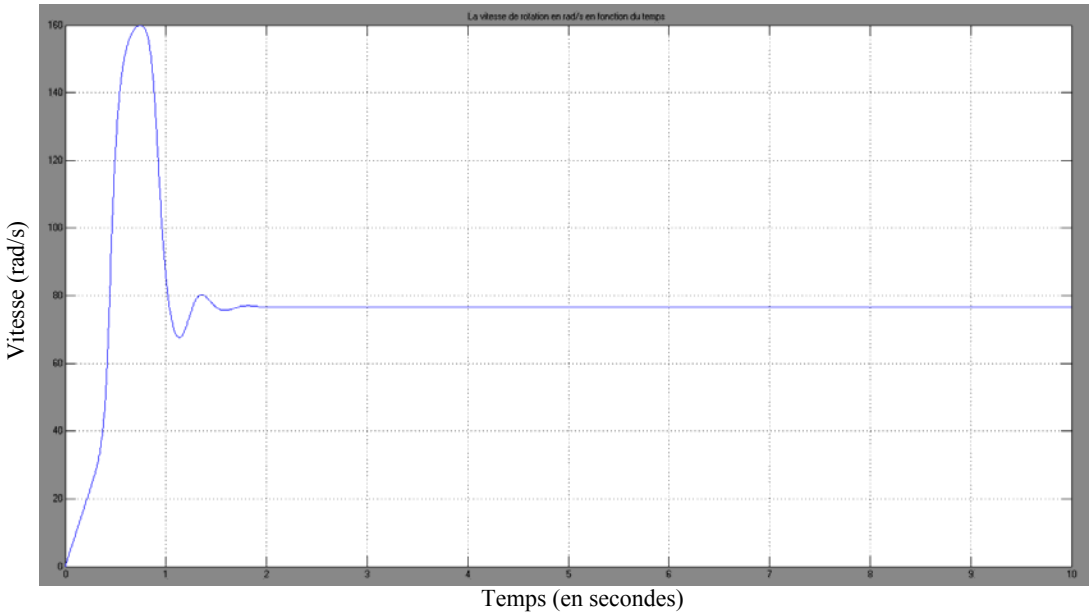


Figure 5.3:La vitesse de rotation de la génératrice en fonction du temps

La vitesse de rotation de la génératrice synchrone maximale est 160 rad/s et devient ensuite constante à 71.7 rad/s en régime permanent. Le temps d'amorçage est de 2 secondes avant d'atteindre le régime permanent.

5.1.1.4 Simulation 3 : La tension produite par la génératrice asynchrone entrainée par l'éolienne

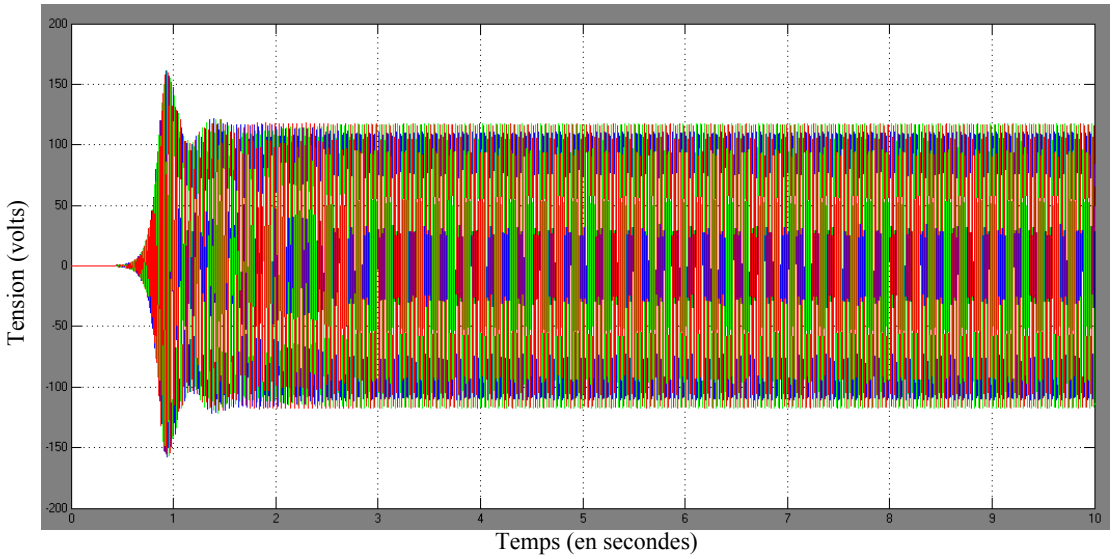


Figure 5.4:La tension fournit par l'éolienne en fonction du temps

La tension à la charge est alternative entre ± 117.8. Au démarrage, la tension est nulle, car le flux magnétique est pratiquement égal à zéro. Grâce au banc de condensateur, un léger flux rémanent permet d'induire une faible tension, et cette tension aura pour effet d'augmenter la quantité de flux magnétique qui à son tour augmentera la tension. La tension augmente donc jusqu'à ce que le fer du rotor atteigne la saturation magnétique. À ce moment, la tension devient constante.

5.1.1.5 Simulation 4 : Le courant produit par la génératrice asynchrone entrainée par l'éolienne

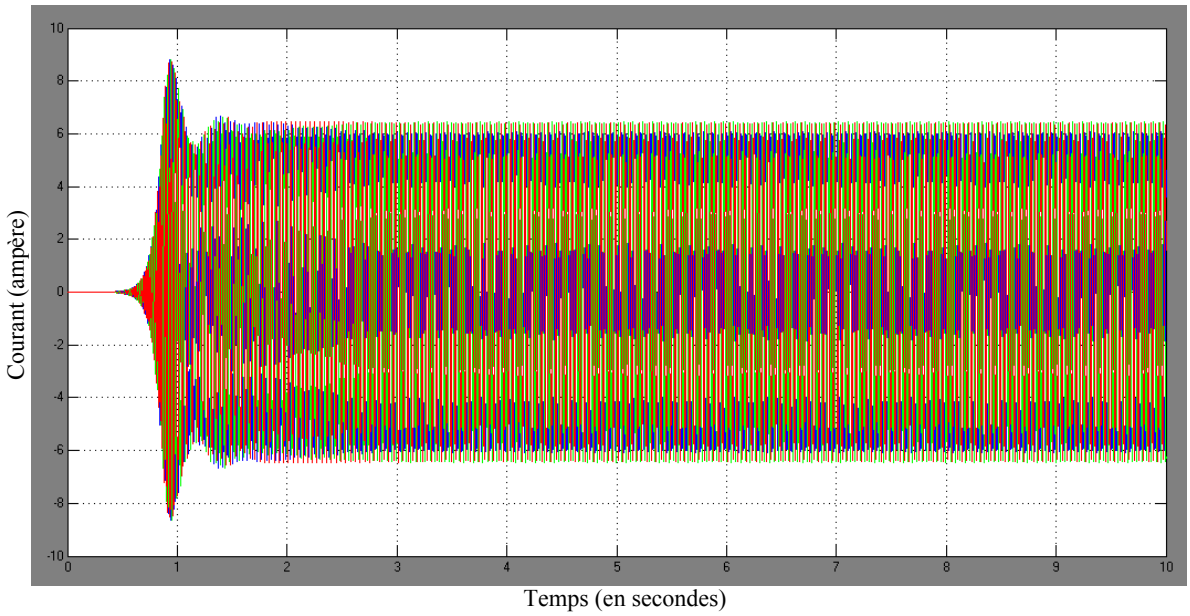


Figure 5.5 :Le courant fournit par l'éolienne en fonction du temps

Le courant à la charge est alternatif et varie entre ± 6.4 ampères en régime permanent. La courbe du courant ressemble grandement à celle de la tension, car le courant est directement proportionnel à la tension.

5.1.2 Le système de panneau solaire

À l'aide d'un script MATLAB fournit à l'annexe 9 et des spécifications du fabricant pour le panneau solaire MSX-60 fournit à l'annexe 11, on est en mesure de simuler le comportement de la tension, du courant et de la puissance à la sortie du module pour une intensité d'ensoleillement fixé à 1000 W/m^2. De plus, à l'aide de Simulink il est possible de simuler la charge d'une batterie avec le circuit illustré à la fin de la section.

5.1.2.1 Simulation 1 : Observation de l'influence de la température sur la tension et le courant

Donnée caractéristique du panneau :

- Facteur de qualité fixé à 1.2
- 36 cellules
- Tension en circuit ouvert par cellule à 25 degrés Celsius est de 0.585 volt (36 cellules)
- Tension en circuit ouvert par cellule à 75 degrés Celsius est de 0.474 volt (36 cellules)
- Courant de court-circuit à 25 degrés Celsius est de 3.80 A
- Courant de court-circuit à 75 degrés Celsius est de 3.92 A

Données d'entrées constantes :

- G = 1 sun = 1000 W/m^2
- V_g = 1.12 volt/cellule
- Des tensions de modules allant de 0 à 24 volts

Donnée de sortie :

Le courant produit en fonction de la température et de la tension du module.

Résultat de la simulation :

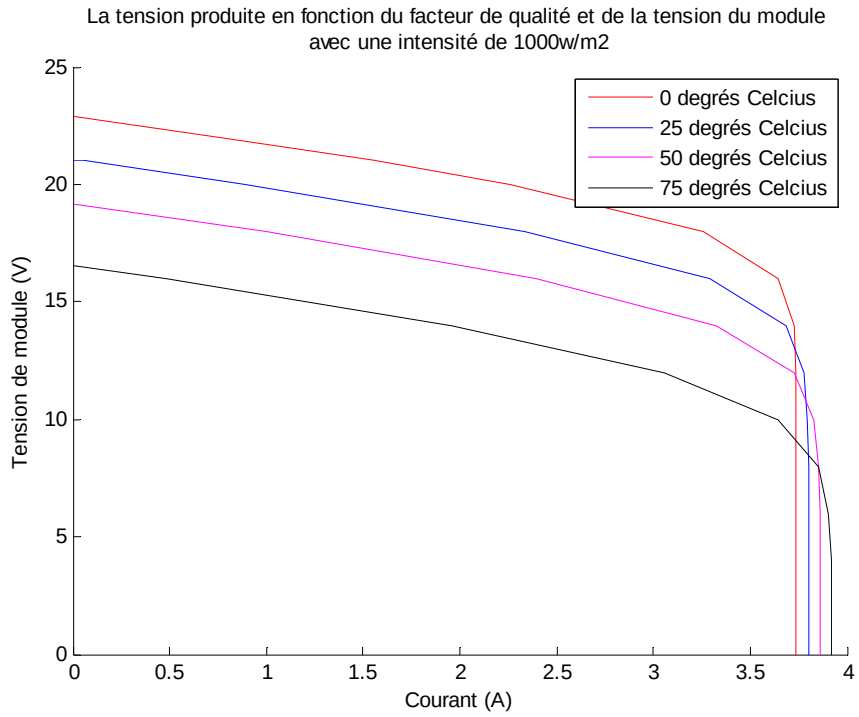


Figure 5.6:Le courant et la tension du panneau solaire en fonction de la température

Explication :

On remarque que la température a un effet sur la tension de sortie et le courant. Lorsque la température est grande, le courant atteint une valeur maximale plus grande, mais pour des tensions de module relativement faible. Lorsque la température est plus faible, le courant atteint est moins important, mais les tensions de module atteignent le maximum, la plage de tension de module est beaucoup plus grande. De plus, la tension à tendance à diminuer lorsque le courant fourni par la batterie augmente. Il serait intéressant de connaître le point où la puissance est optimale pour pouvoir ajuster le système de façon à obtenir le meilleur rendement.

5.1.2.2 Simulation 2 : Observation de l'influence de la température sur la puissance produite

Les données caractéristiques et d'entrées sont les même que la 1er simulation
Donnée de sortie : la puissance produite

Résultat de la simulation :

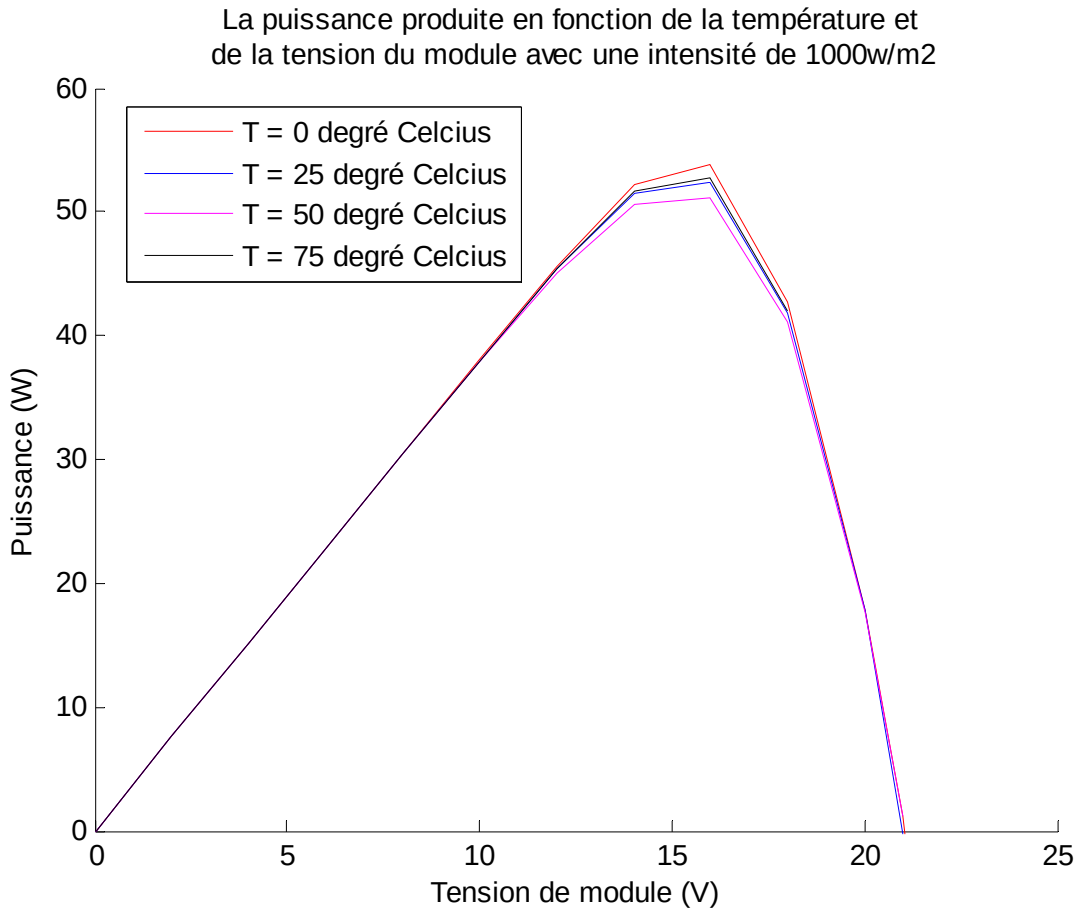


Figure 5.7:La puissance en fonction de la tension pour différentes températures

Explication :

La courbe du graphique ci-dessus est obtenue en multipliant la tension par le courant dans le graphique précédent. Pour plusieurs températures données, la puissance optimale se situe presque toujours lorsque la tension est de 16 volts. La puissance produite est maximale pour une température de 0 degré Celsius. Ces résultats sont encourageants quand on sait que la température moyenne dans le Nord-du-Québec est près de zéro degré Celsius.

5.1.2.3 Simulation 3 : Observation de l'influence du facteur de qualité sur le courant produit

Les données caractéristiques et d'entrées sont les même que la 1er simulation sauf le facteur de qualité est variable.

Donnée de sortie : la tension et le courant

Résultat de la simulation :

Graphique 1: Le courant et la tension du panneau solaire en fonction du facteur de qualité

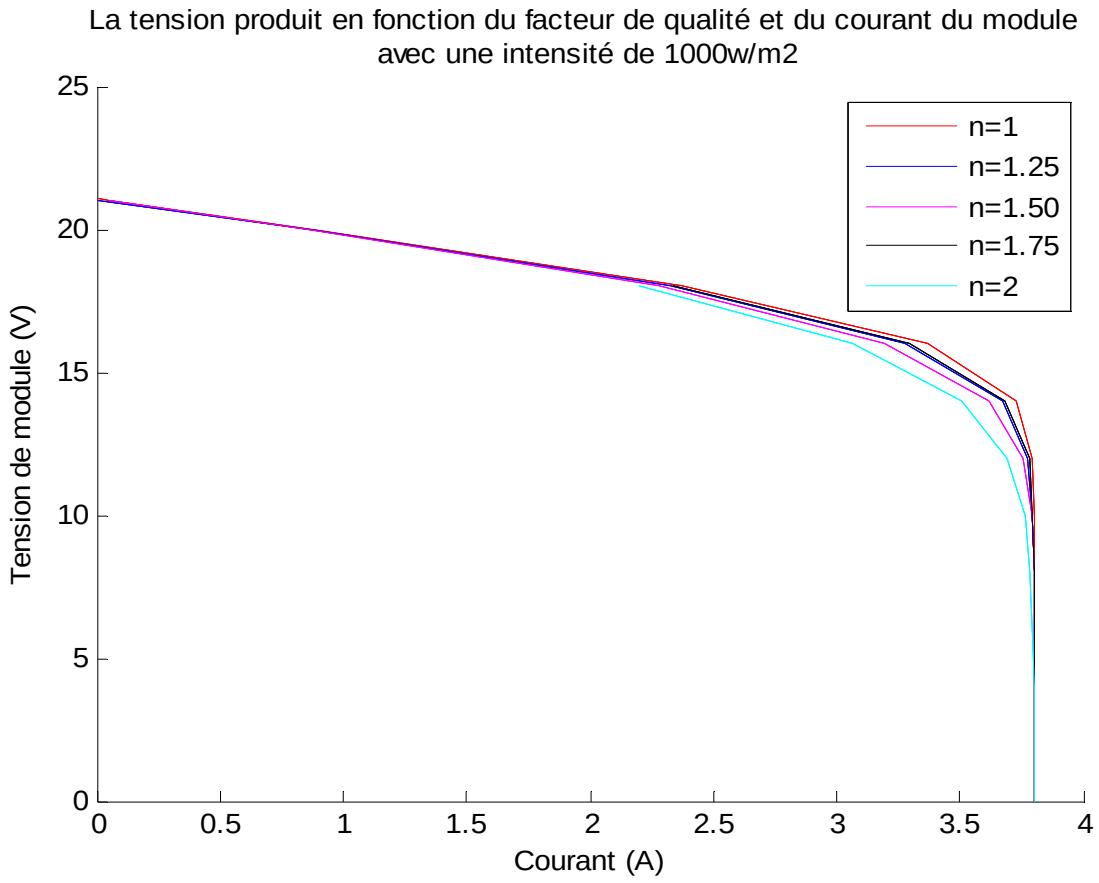


Figure 5.8:Le courant et la tension du panneau solaire en fonction du facteur de qualité

Explication :

Le facteur de qualité varie en fonction du type de panneau et des matériaux le constituant. Ce facteur est déterminé par le fabricant et influence le rendement du système de façon non drastique. Les résultats montrent que plus le facteur se rapproche de 1, plus la puissance est importante.

5.1.2.4 Simulation 4: Observation de l'influence de l'intensité de l'ensoleillement sur le courant et la tension

Données caractéristiques du panneau :

- Les données caractéristiques sont les même que la 1er simulation.

Données d'entrées constantes :

- Vg = 1.12 volt/cellule
- Des tensions de modules allant de 0 à 24 volts

Donnée de sortie :

- La tension et le courant

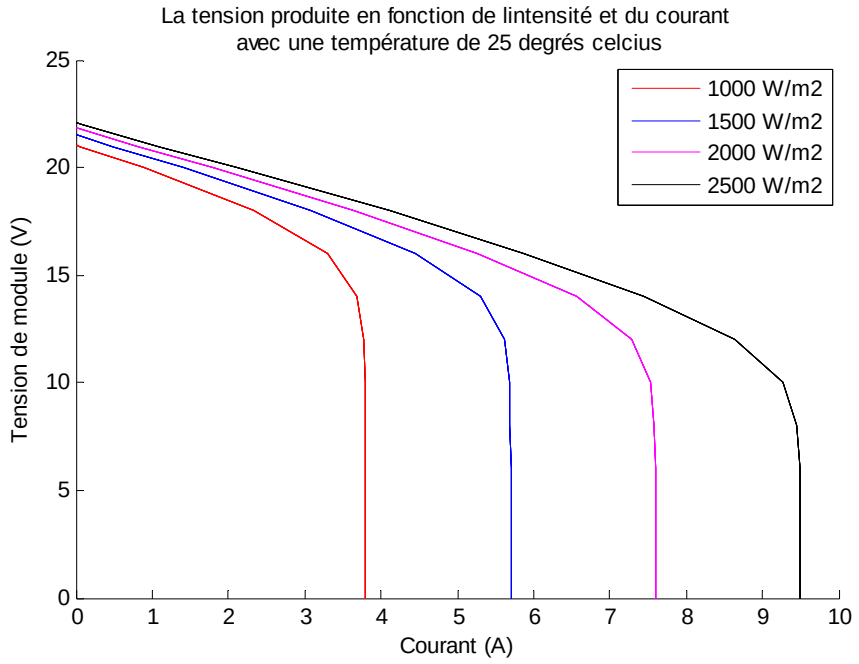


Figure 5.9:Influence de l'intensité de l'ensoleillement

Le courant et la tension sont directement proportionnels à l'intensité d'ensoleillement. Lorsque l'intensité est plus importante, les différentes valeurs de courant et de tension le sont aussi. Ainsi, l'efficacité et le rendement du système de panneau solaire sont grandement influencés par l'intensité de l'ensoleillement. L'intensité est de loin le paramètre le plus important dans le fonctionnement des panneaux solaires.

5.1.2.5 Simulation 5: Observation de l'influence de l'intensité de l'ensoleillement sur la tension et la puissance

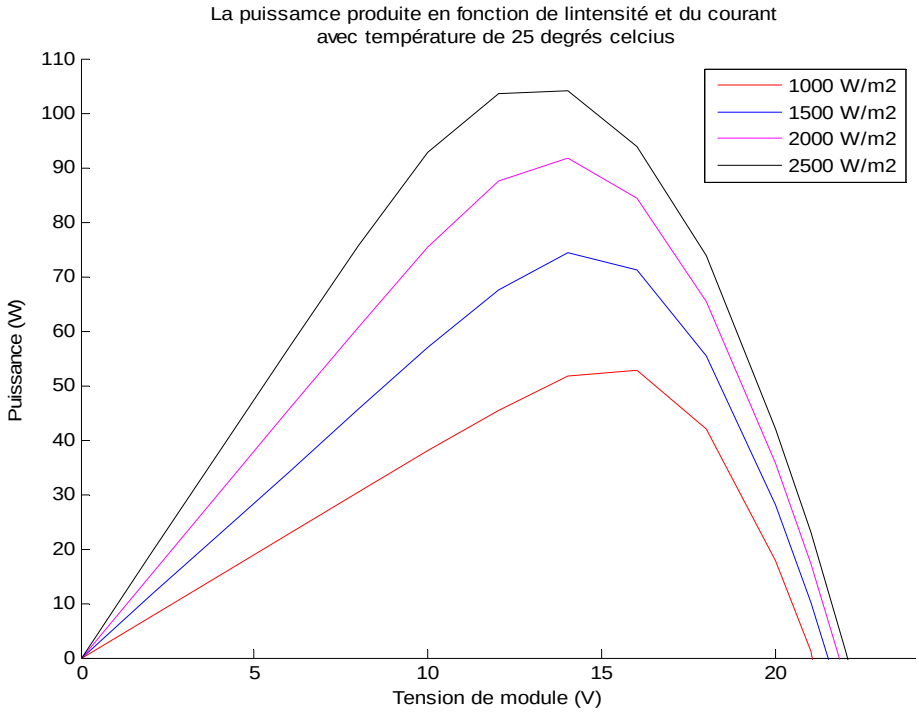


Figure 5.10:Influence de l'intensité de l'ensoleillement sur la puissance

En multipliant la tension et le courant, on obtient la puissance produite pour les différentes intensités et tensions de module. Le graphique permet de déduire les points de fonctionnement optimal dans les conditions de simulation pour chaque intensité lumineuse. On peut ainsi encore affirmer que l'intensité est de loin le paramètre le plus important dans le fonctionnement des panneaux solaires

5.1.3 La génératrice au diesel

5.1.3.1 Simulation 1 : la tension et le courant généré avec la vitesse nominale du moteur (1 pu)

Données caractéristiques :

- Génératrice synchrone de 10,2kVA environ 10 200 watts

Données entrées

- Vitesse de rotation nominale du moteur (1800 RPM)
- Tension de sortie
- Puissance de départ 5000 Watts

Données sorties

- La tension
- Le courant

Résultats :

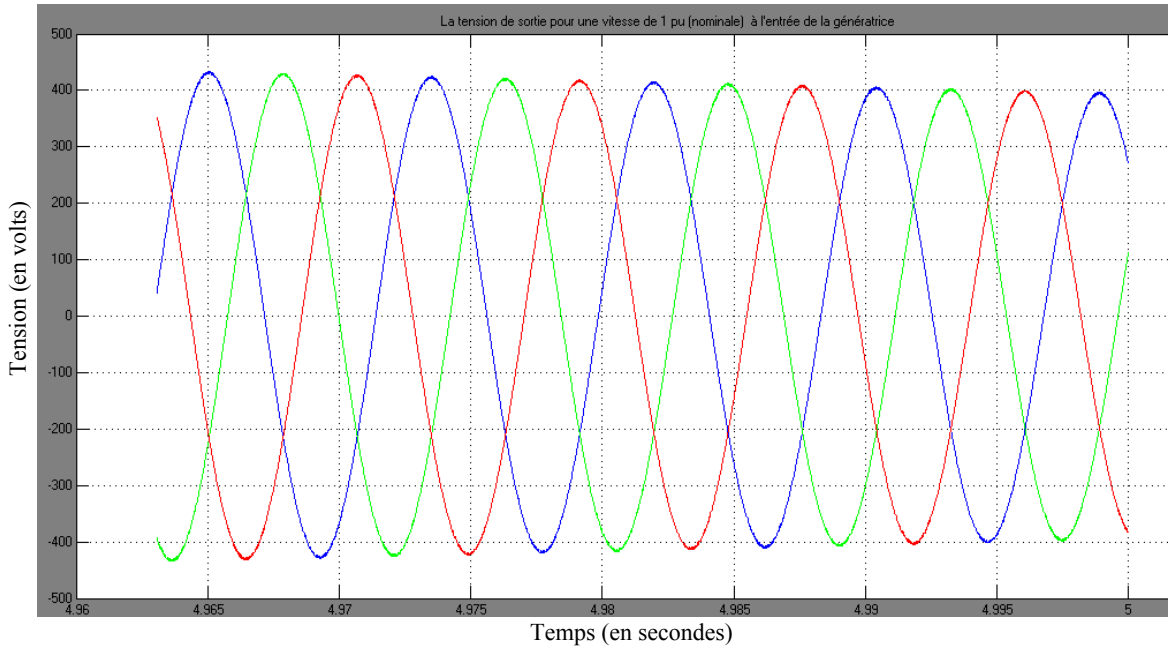


Figure 5.11:La tension fournit par la génératrice en fonction du temps

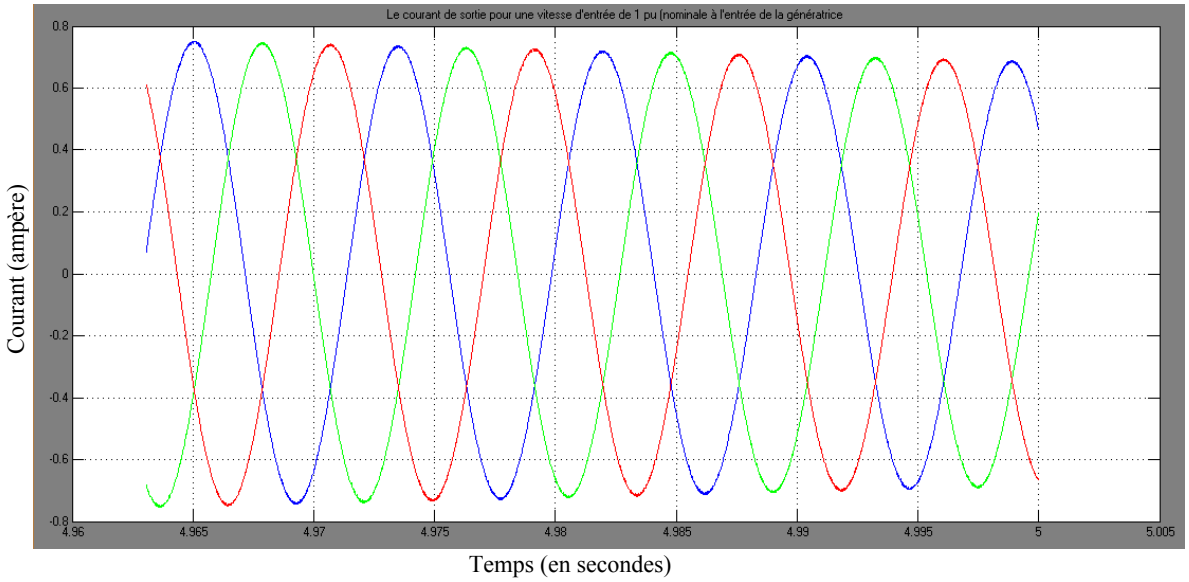

Le courant de sortie pour une vitesse d'entrée de 1 pu (nominale à l'entrée de la génératrice
Courant (ampère)
Temps (en secondes)

Figure 5.12:Le courant fournit par la génératrice en fonction du temps

La génératrice donne une onde alternative pour la tension et un courant alternatif à l'aide d'un système de régulation et de contrôle déjà implanté dans l'ensemble des génératrices. Ce modèle ne

pourrait pas être directement branché sur le panneau électrique des la maison car il est triphasé. Par contre il nous permet de comprendre le comportement de la génératrice qui est pratiquement le même en monophasé. De plus, la génératrice adapte sa vitesse de rotation en fonction de la demande, elle ne tourne jamais pour rien. Une génératrice est ainsi une source d'une grande fiabilité qui se régule en fonction de la charge à alimenter en temps réel.

5.2 Simulation du temps de charges pour le banc de batteries de chaque système

Caractéristique du banc de batteries :

- 24 batteries de 6 volts et 582 Ah
- Le banc de batteries est connecté en parallèle en 6 blocs de 24 volts
- 144 volts totaux

* Le branchement des différents blocks SIMULINK lors du chargement est montré à l'annexe 10.

** Pour réduire le temps de simulation, on va simuler le chargement d'un des 6 blocs de 24 volts seulement. Cela va permettre d'observer l'influence des différents paramètres et caractéristiques du système.

5.2.1 Le système d'éolienne

5.2.1.1 Simulation 1 : La charge de la batterie avec l'éolienne seulement

Résultats :

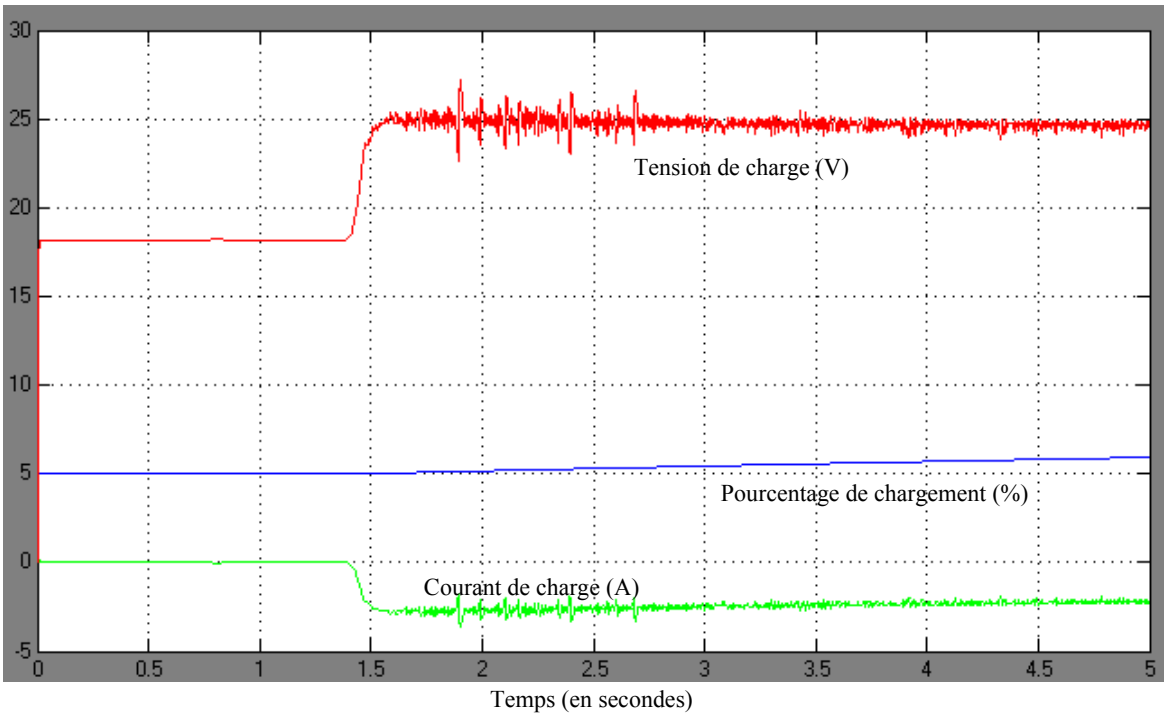


Figure 5.13:Résultat de chargement de la batterie avec l'éolienne

**La courbe du dessus représente la tension aux bornes de la batterie.

La courbe du centre représente le pourcentage de charge de la batterie.
La courbe du bas représente le courant dans la batterie.

Dans cette simulation, le pourcentage de charge initial de la batterie était de 5%. Avant 1.5 sec, la tension aux bornes de la batterie est constante à 18 V, car l'éolienne n'est pas encore amorcée. Ensuite, la tension augmente à 24 volts puisque la tension de sortie de l'éolienne est régulée à cette valeur. Le régulateur de tension est celui montré à l'annexe 8.

5.2.2 Le système de panneau solaire

5.2.2.1 Simulation 2 : La charge de la batterie avec un système de panneau solaire seulement

**Le panneau solaire est le même que dans la section précédente et sa fiche technique est fournit à l'annexe 11.

Résultat de chargement :

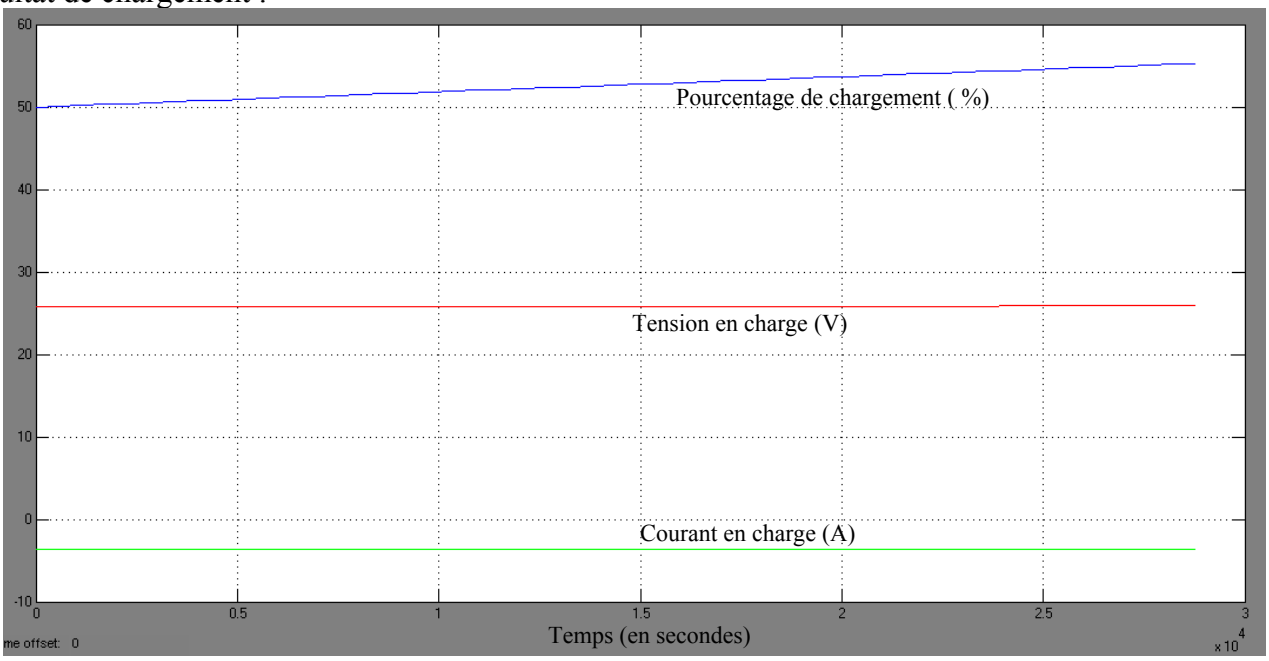


Figure 5.14:Droite de charge avec un seul panneau solaire

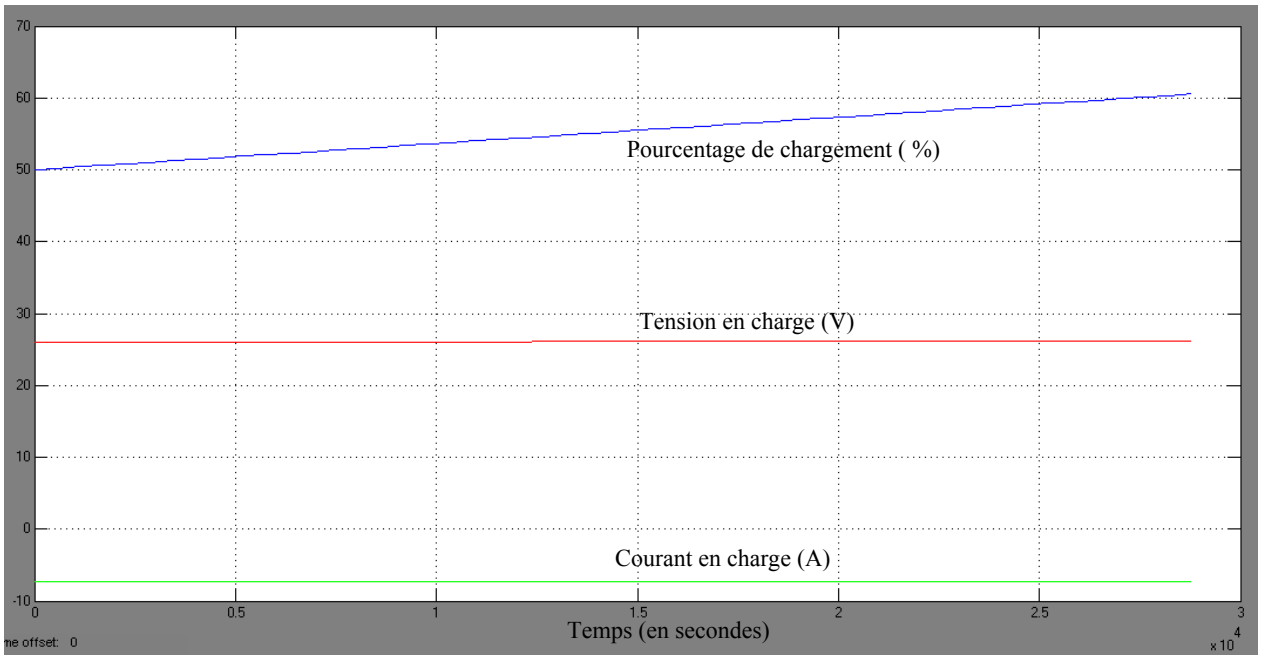


Figure 5.15:Droite de charge avec deux panneaux solaires

Explication :

L'axe vertical représente l'évolution du pourcentage de charge de la batterie, la tension aux bornes de la batterie ainsi que le courant de la batterie. L'axe horizontal représente le temps en seconde, dans notre cas la durée de la simulation est de 8 heures.

1er courbe : Le pourcentage de charge de la batterie
2e courbe : La tension de la batterie
3e courbe : Le courant dans la batterie

L'évolution de la charge de la batterie est directement proportionnelle au nombre de panneaux solaires et le temps de charge est inversement proportionnel. Dans notre projet, pour obtenir le niveau final de charge de la simulation 55,27 %, soit un gain de 5,27 %, le temps nécessaire est divisé par les 16 panneaux ce qui donne 1800 secondes. La charge complète avec les 16 panneaux s'effectuerait en 4,74 heures dans les conditions de simulations.

Le courant de charge est négatif et constant à -3,7 ampères. Le courant est directement proportionnel au nombre de panneaux ainsi avec les 16 panneaux, le courant serait de 59,2 ampères.

Finalement, la tension aux bornes de la batterie varie légèrement entre 25,6 et 25,7 volts.

5.2.3 La génératrice au diesel

La génératrice au diesel est en mesure de fournir la puissance nécessaire à la maison et de recharger le banc de batteries en y raccordant un chargeur. La simulation illustre ce concept puisqu'on alimente une charge de 2000 watts et on recharge un bloc de batteries de 24 volts de notre système d'accumulation. Vu la fiabilité de ce système, la sécurité et la fiabilité du système reposent sur cet élément lors de défaillance des 2 autres systèmes de production et/ou lors de la maintenance et/ou réparation et/ou entretien des composantes comme le banc de batteries. Les génératrices sont de plus en plus silencieuses et possèdent un coût moyen de production d'énergie entre 0,30 et 0,60 $ par kWh ce qui est quasi l'équivalent des panneaux solaires et un peu plus chers que les tarifs d'Hydro-Québec. Pour le système, cet élément doit être utilisé le moins souvent possible et le dimensionnement des autres composantes s'est fait sans prendre en compte cet élément.

5.2.3.1 Simulation 3 : La charge de de la batterie et l'alimentation avec la génératrice au diesel

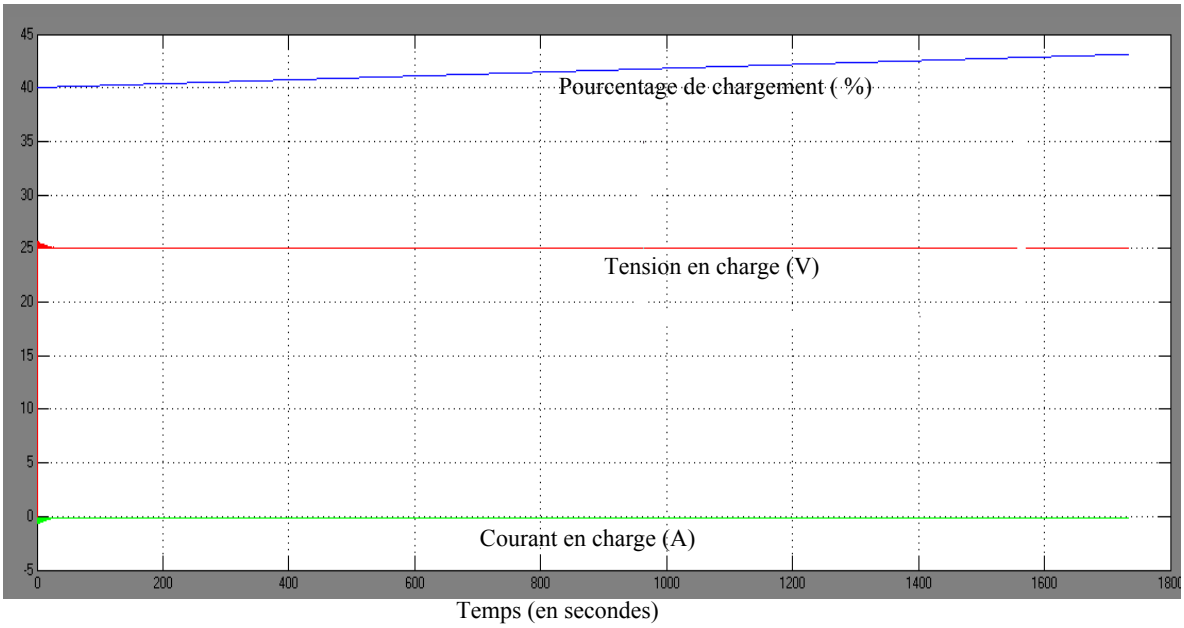


Figure 5.16:Droite de charge avec la génératrice au diesel

1ère courbe : Le pourcentage de charge de la batterie
2e courbe : La tension de la batterie
3e courbe : Le courant dans la batterie

L'axe vertical représente l'évolution du pourcentage de charge de la batterie, la tension aux bornes de la batterie ainsi que le courant de la batterie. L'axe horizontal représente le temps en seconde, dans notre cas la durée de la simulation est de 8 heures.

La tension est le courant de charge sont constant pendant le chargement.

CHAPITRE 6 : Dimensionnement et choix des composantes pour une maison type québécoise

6.1 Introduction

Le présent chapitre a pour objectif de décrire la maison type pour laquelle nous allons ensuite dimensionner les composantes nécessaires pour fournir les demandes énergétiques de celle-ci. Le code électrique du bâtiment québécois va permettre de calculer ces besoins selon la superficie et les éléments qui composent la maison.

Figure 6.1 :Modèle de maison type

6.2 Description de la maison

La maison proposée dans ce travail possède deux étages, dont 235 m^2 de surface habitable. Le chauffage de la maison s'effectue par le biais d'un poêle à bois pour diminuer la charge électrique du bâtiment. Pour ne pas restreindre les utilisateurs de la maison, tous les appareils électriques habituels tels que le réfrigérateur, la cuisinière, la laveuse et la sécheuse sont installés dans la maison. Avec ces informations, il est possible de déterminer la puissance électrique minimale à fournir à la maison.

Selon la section 8.2 du code électrique du bâtiment (réf 8), le courant admissible minimal des conducteurs de branchement où celui des conducteurs des artères alimentant un logement individuel doit être le plus élevé des valeurs prescrites à l'alinéa a) ou b) :

a)

(1) une charge de base de 5000 W pour les premiers 90 m^2 de surface habitable (voir l'article 8-110 du code du bâtiment) ; plus

(2) 1000 W supplémentaires pour chaque surface supplémentaire de 90 m^2 ou pour toute partie de surface supplémentaire inférieure à 90 m^2 ; plus

(3) toutes les charges prévues pour le chauffage électrique, avec les facteurs de demande permis à la section 62 du code, ainsi que toutes les charges prévues pour la climatisation, avec un facteur de demande de 100 %, sous réserve de l'article 8-106-4 du code; plus

(4) toute charge prévue pour la cuisinière électrique calculée comme suit : 6000 W pour une seule cuisinière, plus 40 % de la valeur excédant 12 kW dans le cas d'une cuisinière de plus de 12 kW ; plus

(5) 100 % du facteur de demande prévu pour les chauffe-eau sans réservoir, les chauffe-eau électriques des saunas, des piscines, des cuves de relaxation et des bains tourbillons ; plus

(6) toutes les charges prévues, autres que celles qui sont déjà énumérées aux alinéas (i) à (v).

Ces charges doivent être calculées à 25 % de leur puissance nominale si elles sont supérieures à

1500 W et si l'on prévoit l'installation d'une cuisinière électrique. Toutefois, si l'on ne prévoit pas l'installation d'une cuisinière électrique, ces charges doivent être calculées à 100 % de leur puissance nominale jusqu'à concurrence de 6000 W, plus 25 % de la charge excédant 6000 W ;

Ou

b)

(1) 100 A si la surface de plancher, à l'exclusion de celle du sous-sol, est d'au moins 80 m^2 ; ou (2) 60 A si la surface de plancher, à l'exclusion de celle du sous-sol, est inférieure à 80 m^2.

6.3 Calculs de la demande en puissance selon l'alinéa a) du code:

a) Type de bâtiment : Habitation

b) Type de chauffage : Bois
(TAE: Tout à l'électricité, G&E: Gaz et électricité, TAG: Tout au gaz)

c) Superficie existante non réaménagée	0,0 m.c.	0,0 pi. ca.
d) Superficie existante réaménagée :	0,0 m.c.	0,0 pi. ca.
e) Superficie nouvelle (agrandissement)	0,0 m.c.	0,0 pi. ca.
f) Superficie construction neuve :	234,0 m.c.	2518,7 pi. ca.
Superficie totale :	**234,0 m.c.**	2518,7 pi. ca.

2. Calcul du branchement principal de l'entrée électrique

b) Calcul de charge pour la surperficie réaménagée, ajoutée ou de construction neuve

1. Charge de base (section 8-200)

i) Habitation						
	Premiers 90 m.c.	1,0 m.c.	5000 W/m.c. à	100 %	=	5,0 kW
	Deuxième 90 m.c.	1,0 m.c.	1000 W/m.c. à	100 %	=	1,0 kW
	Exédent	1,0 m.c.	1000 W/m.c. à	100 %	=	1,0 kW
Total charges de base						**7,0 kW**

2. Chauffage électrique

Total chauffage électrique	**0,0 kW**	0,0 W/m.c.			**0,0 kW**

3. Ventilation/Climatisation

Total ventilation/climatisation	**0,0 kW**	0,0 W/m.c.		=	**0,0 kW**

4. Autres Charges

ii) Cuisinière	6,0 kW	25,6 W/m.c.	100 %		6,0 kW
iii) Sécheuse	5,5 kW	23,5 W/m.c.	25 %		1,4 kW
iv) Laveuse	2,0 kW	8,5 W/m.c.	25 %		0,5 kW
Total autres charges					**7,9 kW**

total charges : 14,9 kW

c)Analyse et capacité requise de l'entrée électrique

Capacité min. en ampère pour tensio	240	Volts	**62 A**

d)Capacité recommandée de l'entrée électrique

100 A

Tableau 6.1:Table de calcul pour les besoins énergétiques de la maison

Il faut donc que le système d'alimentation soit capable de fournir environ 15 kW. Le câblage devra quant à lui pouvoir supporter des courants allant jusqu'à 100A.

6.4 Dimensionnement et choix des composantes

Pour réussir à fournir les 15 KW, il faut prévoir des installations adéquates. D'abord, il faut que la génératrice soit assez puissante pour fournir la puissance à la maison en cas de manque de vent et de soleil. La puissance nominale de celle-ci sera d'au moins 15 KW. Puisque l'alimentation autonome utilise le vent et le soleil comme source d'énergie, la moitié de la puissance devra être fournie par le vent et l'autre par le soleil. Les éoliennes devront donc fournir 5 KW et les panneaux solaires aussi. La somme des puissances nominales des deux sources de production donne 10 KW. La raison pour laquelle elle ne fournit pas la puissance totale requise est principalement le coût très élevé des composantes. De plus, la puissance de 15 KW est la puissance maximale que la maison consommera dans de courtes périodes de la journée. En moyenne, celle-ci ne consommera que 2 à 3 KW. Alors, la puissance prévue pour les deux sources autonomes est amplement suffisante.

6.4.1 Calcul et choix du banc de batteries

Figure 6.2: Banc de batteries

Les batteries devront pouvoir fournir la puissance instantanée de 15 KW. Cela est assez facile à obtenir avec une seule batterie. Le problème c'est qu'il faut prévoir la décharge de celles-ci. Les batteries devraient pouvoir alimenter une maison pendant au moins une journée dans l'éventualité où le vent et le soleil sont absents pendant quelques jours. La quantité d'énergie requise en considérant une consommation moyenne de 3KW serait donc :

$$E = 3000W * \frac{24h}{jour} * 1jours = 72\ KWh \quad (6.1)$$

Considérant que chaque batterie a une tension de 6V, il est possible de savoir le nombre d'ampères-heures que le banc de batteries doit fournir.

$$n_{Ah} = \frac{72\ 000}{6V} = 12000Ah \quad (6.2)$$

Ainsi, le nombre de batteries est fonction du nombre d'ampères-heures qu'une batterie peut fournir.

Si une batterie de 6 V fournie 530 Ah, il faudra donc avoir.

$$N_{bat} = \frac{n_{Ah}}{530Ah/batteries} = \frac{12000Ah}{530Ah/batteries} = 22.64\ Batt \approx 24\ Batteries \quad (6.3)$$

La compagnie qui fournira les batteries est située en France et se nomme MSM électrique. Sur leur site internet, on peut en trouver plusieurs variétés. Notre choix s'est arrêté sur ce qui serait le plus économique. Soit l'achat de deux palettes de 12 batteries Surrette 530 Ah, 6V. Ce qui fait 24 batteries en tout et 6 bancs de 24 volts branchés en parallèle.

6.4.2 Choix de l'éolienne

Le fournisseur de l'éolienne est le même que pour les batteries. Le choix de celle-ci s'est fait sur des critères pratiques.

Tableau 6.1 : Paramètres de l'éolienne choisie

Puissance nominale	5KW
Tension de sortie	110,220 V/ 50-60 Hz
Vitesse de vent minimale	1.5 m/s
Vitesse nominale du vent	12 m/s
Vitesse maximale du vent	25m/s
Poids	154 lbs
Diamètre du rotor	4.1m

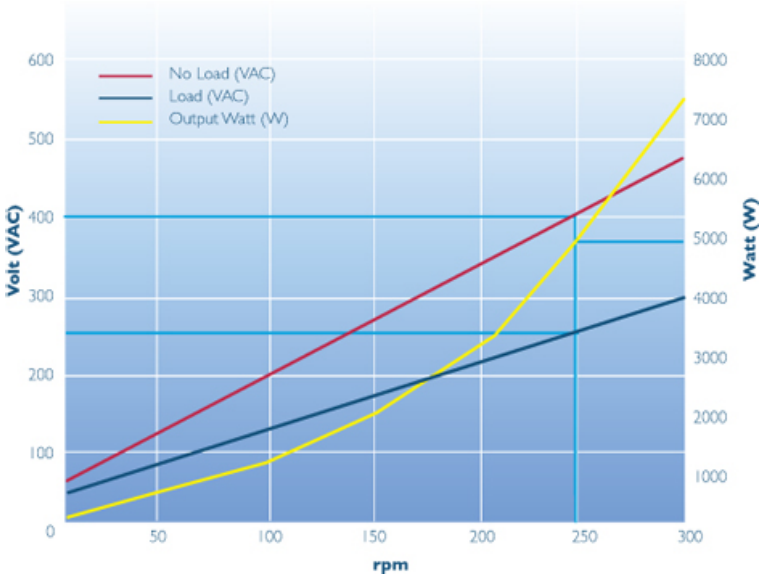


Figure 6.3 :Performance de l'éolienne pour différentes vitesses de rotor

Figure 6.4 :Éolienne HAWT 5 KW

6.4.3 Choix des panneaux solaires

Figure 6.5 :Solar world 175 Watts

Le choix des panneaux solaire s'est fait de façon à ce que ceux-ci soient placés sur le toit de la maison. Pour faciliter le déneigement en hiver, une seule rangée de panneaux solaires est installée. Au maximum, il peut y avoir 16 panneaux solaires sur une largeur de toit pour la maison modèle. Toujours avec le même fournisseur que précédemment, voici les spécifications des panneaux.

Puissance maximale nominale (Pmax): 175 watts
Voltage maximal nominal (Vmpp): 35.7 volts
Courant maximal (Impp): 4.9 amps
Voltage en circuit ouvert (Voc): 44.4 volts
Courant en courant circuit (Isc): 5.4 amps
Cellules par module: 72
Type: monocrystallin
Dimensions (LWH): 63.39" x 31.89" x 1.34" (1610 x 810 x 34 mm)
Poids : 33 lbs (15 kg)

Caractéristiques thermiques
NOCT: 46°C
TK Isc: 0.06 %/°K
TK Voc: -0.35 %/°K

Certifications: IEC 6125, Safety Class II, CE
Garantie : 25 ans pour puissance de sortie, 2 ans pour le matériel

6.4.4 Choix de la génératrice au diesel

Figure 6.6:YANmar Génératrice HDYW-14M6

Au départ, il était prévu que la génératrice ait une puissance nominale de 15 KW, mais puisque cette puissance n'est pratiquement jamais consommée, nous avons choisi une génératrice légèrement moins puissante; soit une de 12.5kW. Cette quantité permet amplement de répondre aux besoins énergétiques de la maison. De plus, sa boîte de protection atténue le bruit du moteur et protège la machine contre les intempéries. Le générateur peut donc être installé à l'extérieur de la maison et ne nécessite aucune installation supplémentaire. Le fournisseur est HardyDiesel et on peut trouver plusieurs autres types de génératrice sur leur site internet. Une fiche de spécifications détaillée est fournie à l'annexe 12.

CHAPITRE 7 : Schéma général, d'implantation et de câblage électrique

Les fils entre le banc de batteries et le panneau de distribution de la maison doivent être en mesure de supporter un courant de 100 ampères. Pour le raccordement des systèmes au banc de batteries, il faut se référer au manuel d'installation de chaque composante.

7.1 Le système d'éolienne

7.1.1 Synoptique de raccordement

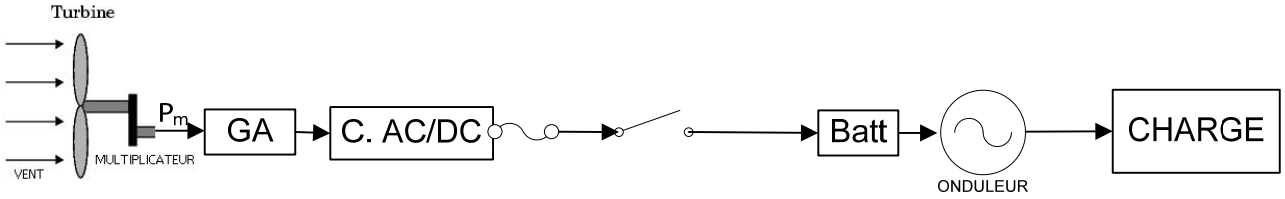


Figure 7.1:Synoptique de raccordement pour l'éolienne

7.2 Le système de panneau solaire

7.2.1 Synoptique de raccordement

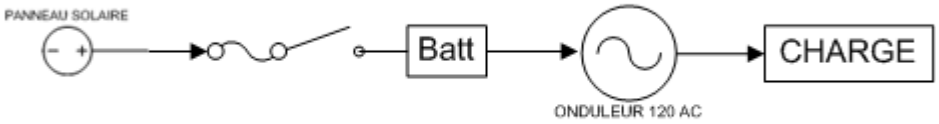


Figure 7.2:Synoptique de raccordement pour les panneaux solaires

7.3 La génératrice au diesel

7.3.1 Synoptique de raccordement

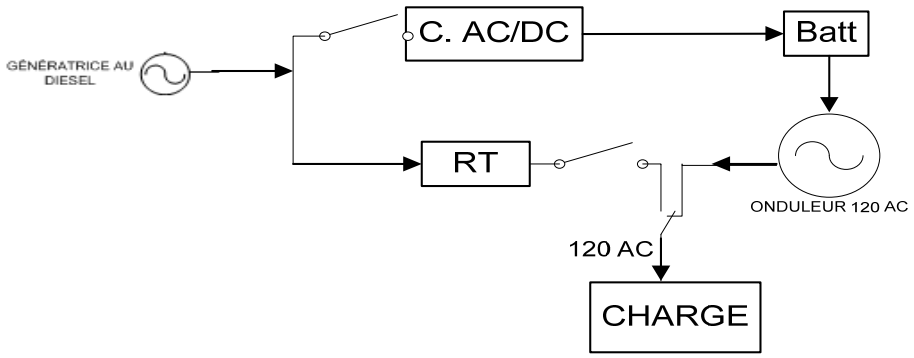


Figure 7.3:Synoptique de raccordement pour la génératrice

** À l'annexe 13, la mise en plan du schéma d'implantation est disponible

CHAPITRE 8 : Santé et sécurité

La première étape est de rendre accessible une trousse de premiers soins dans l'endroit où les batteries et le matériel sont entreposés et de connaitre les premiers soins en cas de choc électrique. L'installation et la maintenance doivent se faire hors tension et suivre les règles de cadenassage. Il existe des règles élémentaires de sécurité qui permettent d'éliminer des accidents reliés à une électrocution qui fait plusieurs victimes chaque année au Québec.

1- Pensez d'abord, agissez ensuite
2- Réfléchir aux possibilités de danger avant d'entreprendre des travaux
3- Rester toujours vigilant tout au long des travaux
4- Ne pas se laisser distraire par l'environnement ou son entourage lors des travaux
5- Être sérieux et consciencieux puisqu'une électrocution n'est pas une blague et peut être fatale.

Deuxièmement, toute installation doit se faire par une personne autorisée possédant les cartes adéquates et les compétences requises.

Troisièmement, il faut que l'accès aux équipements soit contrôlé. Le cabanon pour entreposer les accumulateurs et les équipements du système, doit être verrouillé à clé en tout temps.

Quatrièmement, il faut toujours être 2 personnes lors du déneigement des panneaux solaire sur le toit de la maison et la personne sur le toit doit être attachée si la maison à une hauteur supérieure à 3 mètres.

Finalement, faire appelle à un électricien ou une personne qualifiée en électricité s'il arrive des événements inexplicables ou anormaux et fermer l'alimentation principale en cas d'urgence jusqu'à ce que les réparations soient effectuées.

CHAPITRE 9 : Calculs économiques

Estimation des coûts :

Tableau 9.1:Bilan économique

Matériel	Quantité	Coût total ($)
Panneau solaire 175W, *Solarworld*	16	13504
Éolienne, 5 kW,	1	22 940
Génératrice	1	8900
Batterie, 6V 530 Ah	24	4 854
Onduleur	1	1000
Contrôleur	1	900
Chargeur	1	850
Fils	1	500
Essence	200 $ /ans *25 ans	5000
Total	1	58448

Facture d'Hydro-Québec :

200 $ /mois *12 mois = 2400 $/an X 25 ans =60 000 $

L'installation est donc amortie sur 25 ans. Après 25 ans, le système commence à être rentable. Ce système devient intéressant lorsque la maison est située en milieu éloigné et/ou qui n'a pas accès au réseau d'Hydro-Québec. De plus, ce genre d'installation procure à l'utilisateur une autonomie complète qui lui permet d'avoir de l'électricité même en cas de panne. Un tel système devient attrayant lorsqu'on se construit une nouvelle habitation et qu'il faut débourser un montant pour se raccorder au réseau public (environ 20 000 $). Dans ce cas, le système devient rentable en 15 ans. De plus, lorsque les coûts d'alimentation dans notre région sont plus élevés qu'avec Hydro-Québec, le système est très intéressant. On sait que le Québec est choyé en ce qui attrait au coût de l'électricité, mais si on regarde en Europe, de tel système sont de plus en plus populaire et très avantageux pour faire des économies.

CONCLUSION

Ce projet a permis l'étude de différents systèmes de production d'énergie autonomes. Au départ, la recherche de solution à permis de mieux élaborer un concept de tour de convection autonome pouvant produire environ 10 KW. Étant donné les dimensions trop élevées d'un tel système, le projet s'est orienté vers des sources de production d'énergie autonomes telles les éoliennes et les panneaux solaires. Une maison type québécoise chauffant au bois devrait pouvoir subvenir à ces besoins en énergie en installant le système tri énergétique composé de 16 panneaux solaires de 175 Watts, d'une éolienne de 5 kW et d'une génératrice de 12,5 kW. Étant donné le faible coût de l'électricité dont bénéficient les habitants du Québec, nous recommandons à ceux qui peuvent de se connecter au réseau d'Hydro-Québec, de diminuer le nombre de panneaux solaires et prendre une éolienne de taille moins importante pour sauver sur la facture d'électricité et rentabiliser le système sur un délai raisonnable. Dans l'éventualité de l'installation du système, une analyse météorologique des vents et de l'ensoleillement devrait être faite pour s'assurer du potentiel énergétique de l'environnement et pour mieux dimensionner les composantes.

Références

LIVRES

1. NASR, Philippe, *La gestion de projet,* 7e édition ,Les Éditions de la Chenelière inc, (2006).
2. P.INCROPERA, Franck, *Fundamental of heat and mass transfert*, 6e édition,USA,édition Wiley,(2007)
3. WAMKEUE, René, *Électronique industrielle(notes de cours)*, notes personnelles, Rouyn-Noranda, (2009)
4. WAMKEUE, René, *Production d'énergie électrique(notes de cours)*, notes personnelles, Rouyn-Noranda,(2009)
5. WAMKEUE, René, *Électrotechniques (notes de cours)*, notes personnelles, Rouyn-Noranda, (2009)
6. C.KRAUSE,PAUL, *Analysis of electric machinery* , 2e édition, Institute of Electrical & Electronics Enginee, (2007)
7. OMRAN, Rabih, *Modélisation du Moteur Diesel*, Thèse de doctorat,
8. Code électrique du bâtiment, (2007)

SITE INTERNET

9. Entreprise Bventilation corp.. site internet de l'entreprise, http://www.bventilation.com , Consulté le 10 novembre 2009
10. Auteur inconnu (source www.adit.fr), *Energy tower : une nouvelle énergie basée sur la convection de l'air,* http://www.clean-auto.com/Energy-tower-une-nouvelle-energie?1539.html. Consulté le 10 janvier 2010
11. Auteur inconnu, *Génératrice 101*, http://www.galpower.com/fr/resources/gensets101/gasordisel.aspx, consulté le 1er mars 2010
12. Vendeur, *Solar package,* http://www.theresourcestore.ca/proddetail.php?prod=MagnaSine-220, consulté le 3 mars 2010
13. AMRANI,O, *Étude et identification des différents modèles électriques photovoltaïques*, http://works.bepress.com/cgi/viewcontent.cgi?article=1003&context=djamila_rekioua, consulté le 3 mars 2010
14. Gouvernement du Québec, *Relevés cartographiques de l'ensoleillement au Québec,* http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/innovation/innovation-non-conventionnelles-cartes.jsp, consulté le 10 mars 2010
15. Vendeur, *msmelectric,* http://www.msmelectric.com, consulté le 10 mars 2010

LOGICIEL

See electrical LT, logiciel de dessin électrique
Matlab 2008 et Help Matlab 2008, Version, logiciel de simulation

Annexe 1 : Exemples pour les modes de transfert de chaleur

Exemple de convection:

Le chauffage à l'aide d'un foyer dans les maisons traditionnelles crée aussi ce phénomène puisqu'une cellule de convection se forme dans la maison. La figure ci-dessous illustre bien ce fait.

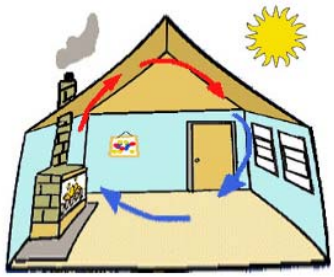


Figure A.1:Exemple de la convection

**On remarque que les conditions nécessaires à la formation d'une cellule de convection sont une source de chaleur ou une différence de température entre 2 hauteurs dans un endroit confiné.

Exemple de convection et de conduction:

Le chaudron chauffé par l'élément du four.

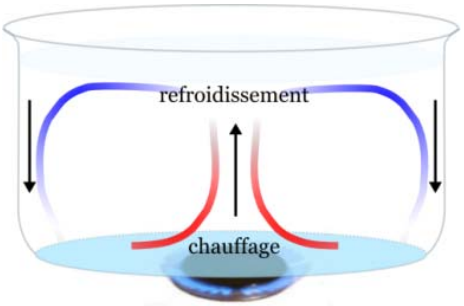


Figure A.2:Exemple de convection et de conduction thermique

La cellule de convection est produite suite au phénomène de conduction entre le récipient et la plaque chauffante. Le schéma contient ainsi de la convection et de la conduction.

Exemple de radiation :

Le meilleur exemple de rayonnement thermique est notre source de vie soit le soleil. Le soleil nous réchauffe de façon continuelle depuis des siècles.

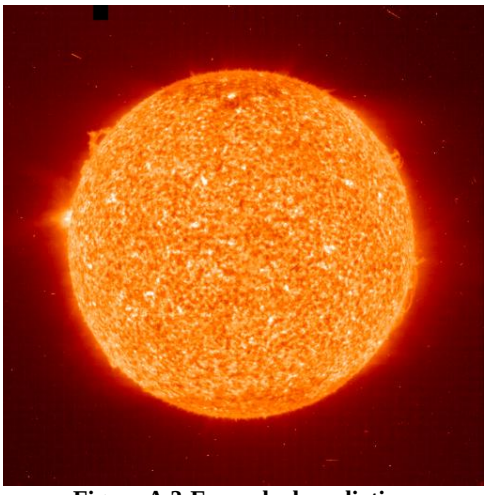


Figure A.3:Exemple de radiation

Annexe 2 : Schéma d'une tour de refroidissement de centrale thermique

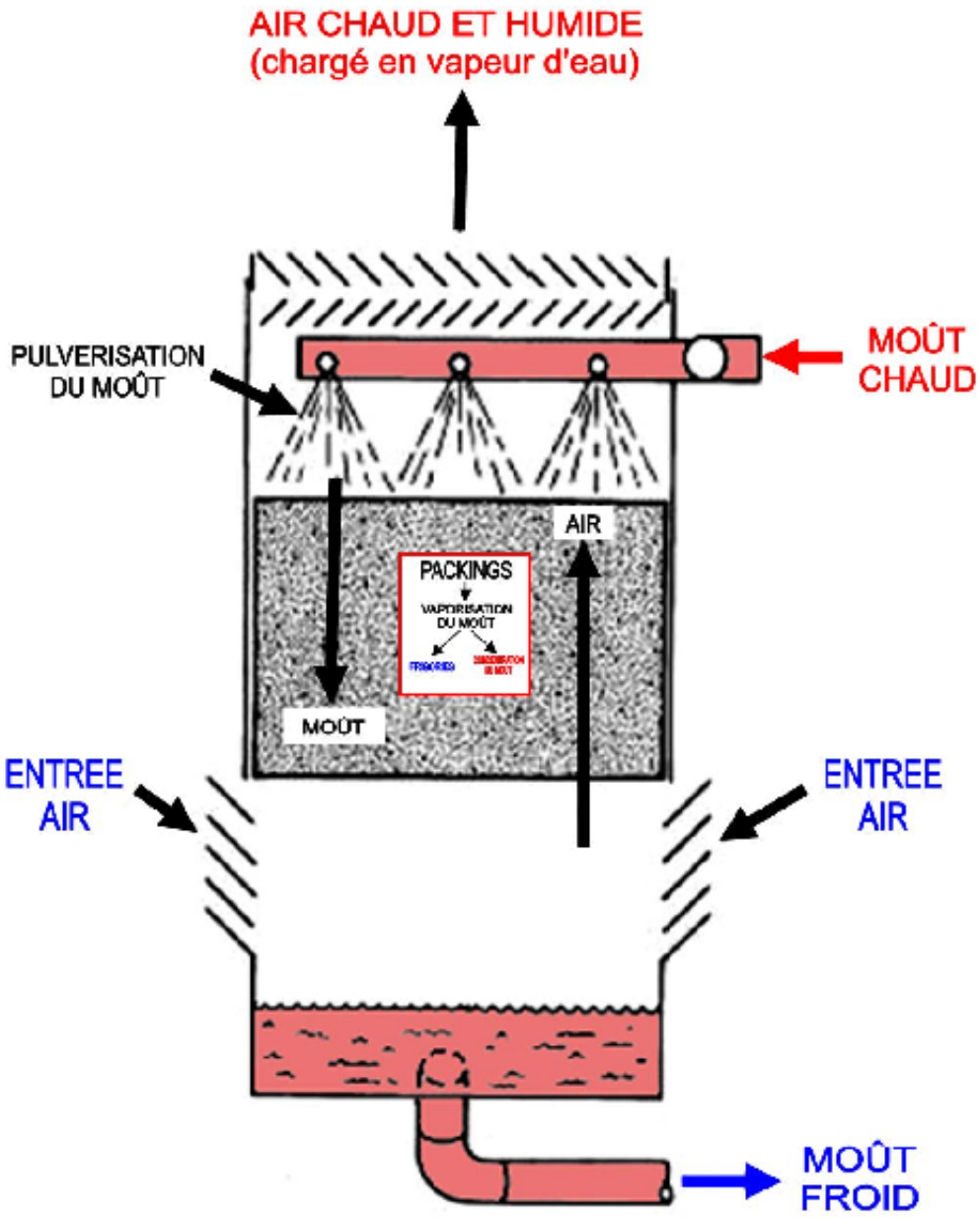


Figure A.4:Tour de refroidissement

Annexe 3 : Représentation du prototype

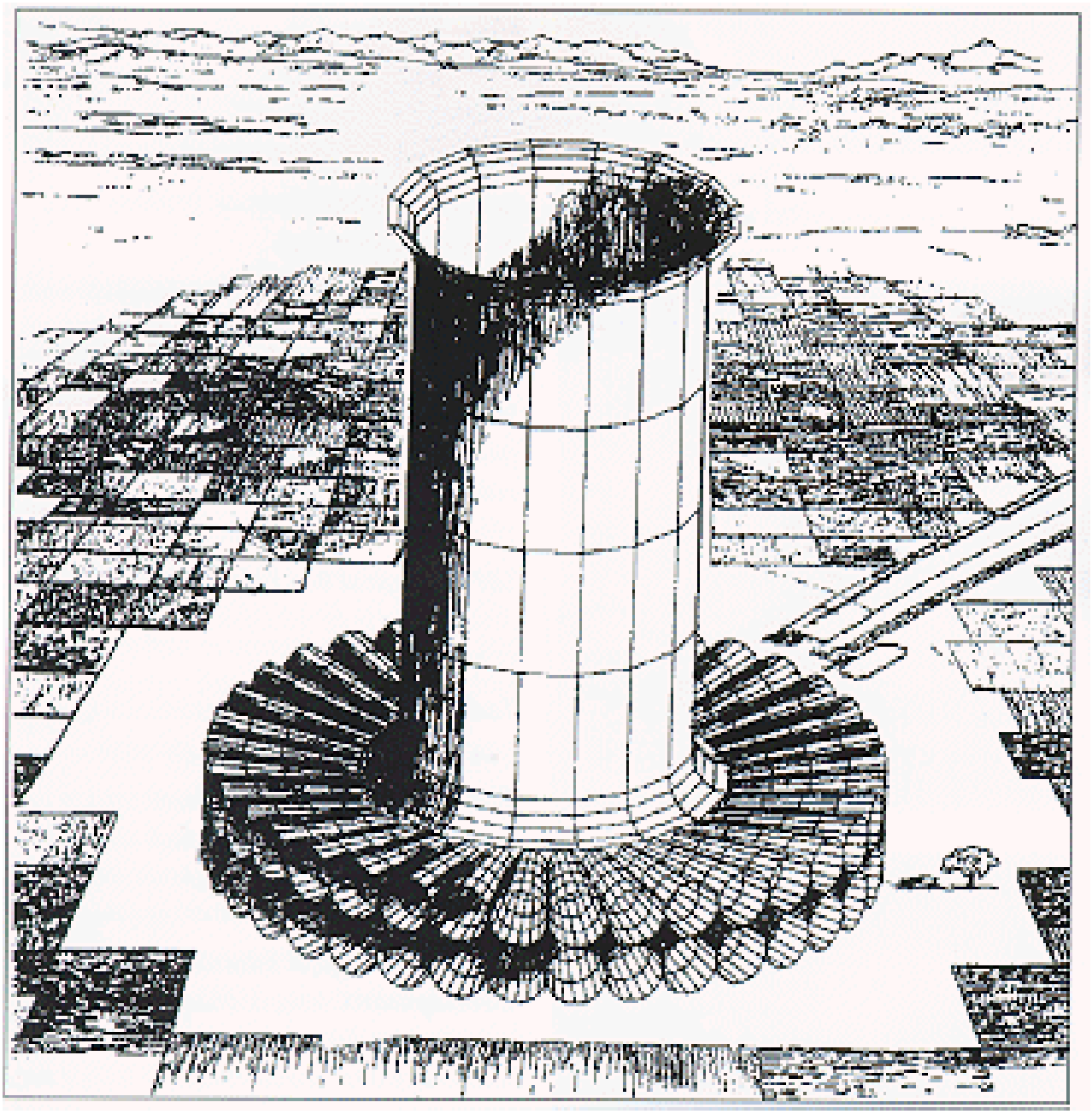


Figure A.5:Schéma du prototype

Annexe 4 : Comparaison du prototype avec la maison type

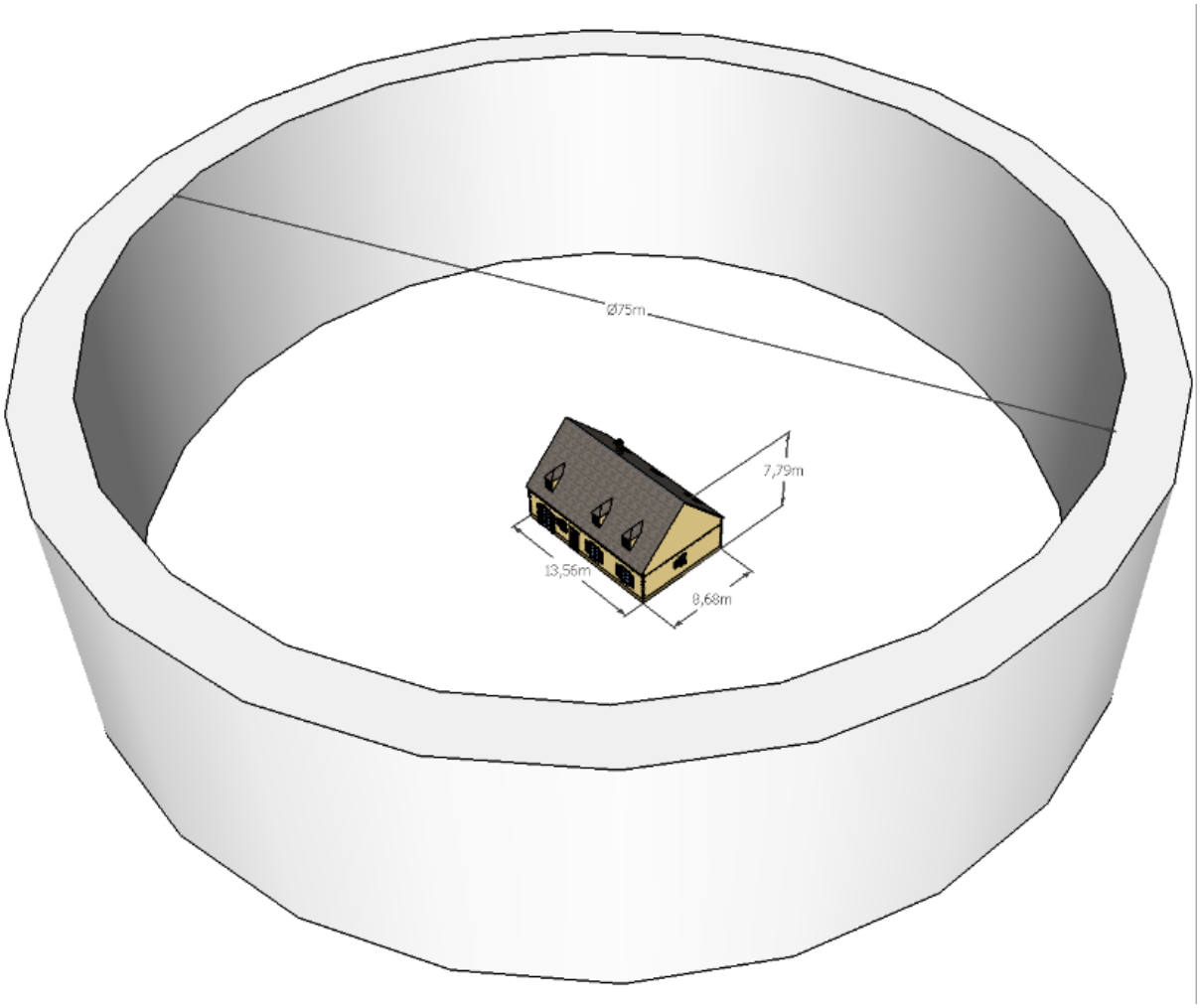


Figure A.6:Comparaison du prototype avec les dimensions d'une maison type

Annexe 5 : Résumé des possibilités de génératrice

Tableau A.1:Résumé des possibilités de génératrice pour l'éolienne

Type de génératrice entrainée	Génératrice à courant continu	Génératrice asynchrone à vitesse constante	Génératrice à vitesse variable**	Génératrice synchrone à aimants permanents à couplage direct	Génératrice à double alimentation
Caractéristiques	-Utilisation d'une boite de vitesse -Accumulation dans des batteries -Création d'une tension continue	-Doit être relié au réseau - Le réseau impose la vitesse de rotation	-Peut tirer le maximum de puissance du vent -Utilisation d'un anémomètre -Problème de régulation	-Sans boite de vitesse -Ondulation et redressement nécessaire	-Relier au réseau -Fréquence fixée par le réseau -Contrôle de la vitesse du rotor pour maximiser la puissance produite

Annexe 6 : Description des éléments de régulation et de contrôle du système

Le convertisseur AC/DC (le redresseur)

Dans ce type de conversion, l'énergie sous forme alternative (couramment sinusoïdale) est transformée sous forme continue (redresser variable ou constante). Ce type de convertisseur est appelé redresseur. Sa structure est donnée à la figure ci-dessous. Il est appelé redresseur non commandé s'il fournit un signal de sortie de valeur moyenne constante (non variable). Il est appelé redresseur commandé s'il produit un signal de sortie de valeur moyenne variable. Les redresseurs non commandés sont conçus à l'aide des diodes de puissances ou diodes rapides et les redresseurs commandés à l'aide des thyristors rapides. L'utilisation de ce composant dans notre projet va permettre de transformer la tension alternative produite par l'éolienne pour charger la batterie avec une tension continue. Le schéma électrique du redresseur dans les simulations est représenté par un pont de diode. Pour plus d'information, se référer aux notes de cours d'électronique industriel de René Wamkeue.

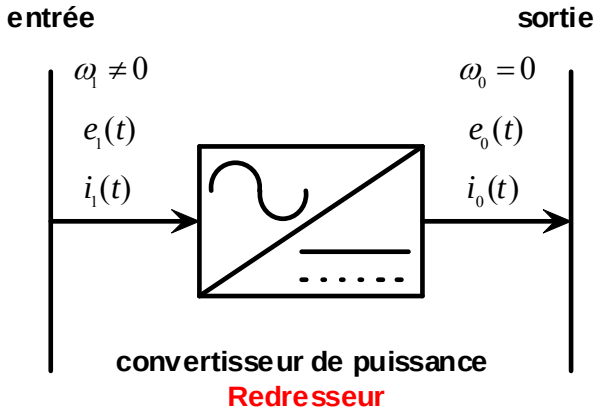


Figure A.7:Principe de fonctionnement d'un redresseur

Les batteries (accumulateur):

Afin de stocker l'énergie électrique produite par l'éolienne lorsque le vent est propice, par les panneaux solaires lorsque le soleil est très intense ou l'excédant d'énergie lorsque la génératrice fonctionne, et pouvoir réutiliser cette énergie dans des conditions moins favorables à la production, on utilise un dispositif de stockage de l'énergie électrique : la batterie ou la récolte de l'hydrogène. La batterie est composée d'unités électrochimiques appelées cellules, qui produisent un voltage en transformant l'énergie chimique qu'elles contiennent en énergie électrique. Chaque cellule produit une tension variant entre 1 et 2 V selon le type de batterie. En assemblant ces cellules en série/parallèle, on obtient des tensions de batteries suivantes: 12, 24 ou 48 Volt.

L'onduleur (DC/AC)

L'énergie électrique provenant de l'éolienne et stockée dans la batterie se présente sous forme de courant continu (CC) à faible tension continue CC (12V, 24V, 48V). Cependant, la majorité des appareils domestiques sont conçus pour être alimentés en courant alternatif (CA) sous tension alternative élevée CA (110V/120V). Le rôle de l'onduleur est donc de convertir ce courant continu CC en courant alternatif CA utilisable par les appareils existants dans la maison de façon quotidienne. Le processus de conversion entraîne une perte d'énergie. Par conséquent, il convient de choisir un onduleur ayant une faible perte d'énergie. Le schéma électrique utilisé dans les simulations est fourni à l'annexe 8. Le principe de fonctionnement de l'onduleur est donné à la figure ci-dessous.

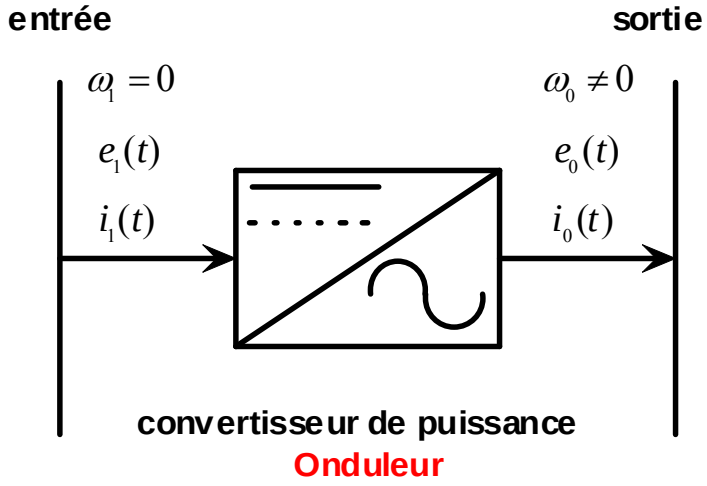


Figure A.8:Principe de fonctionnement de l'onduleur

Le convertisseur DC/DC (le hacheur)

Les convertisseurs continu-continu permettent de transformer une énergie continue (signal) de valeur moyenne donnée, en une énergie continue de valeur différente de celle de l'entrée. Ce type de convertisseur est appelé le hacheur. La structure générale de ce type de convertisseur est donnée à la figure A.9. Le hacheur est en continu ce qu'est le transformateur en alternatif. On distingue des hacheurs dits abaisseurs ou dévolteurs lorsque la valeur moyenne de la tension de sortie est plus petite que la tension d'entrée, les hacheurs élévateurs ou survolteurs, lorsque la tension de sortie est plus élevée que la tension d'entrée et les hacheurs inverseurs qui produisent des tensions de sortie de valeur moyenne opposée à la tension d'entrée. Les hacheurs sont conçus à l'aide des transistors de puissance. L'utilisation de ce composant dans notre projet va permettre de transformer la tension continue produite par les panneaux pour charger la batterie avec la bonne tension continue. Le schéma *Simulink* du hacheur utilisé dans les simulations est présenté à l'annexe 8.

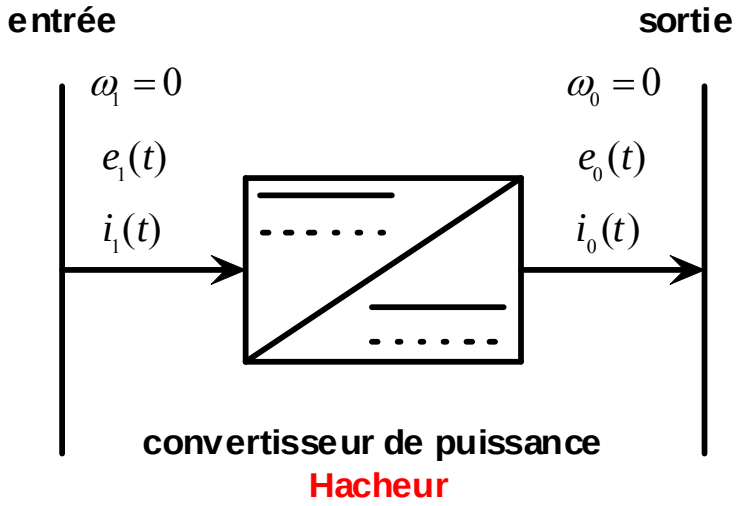


Figure A.9:Principe de fonctionnement d'un hacheur

Annexe 7 : Données d'ensoleillement au Québec

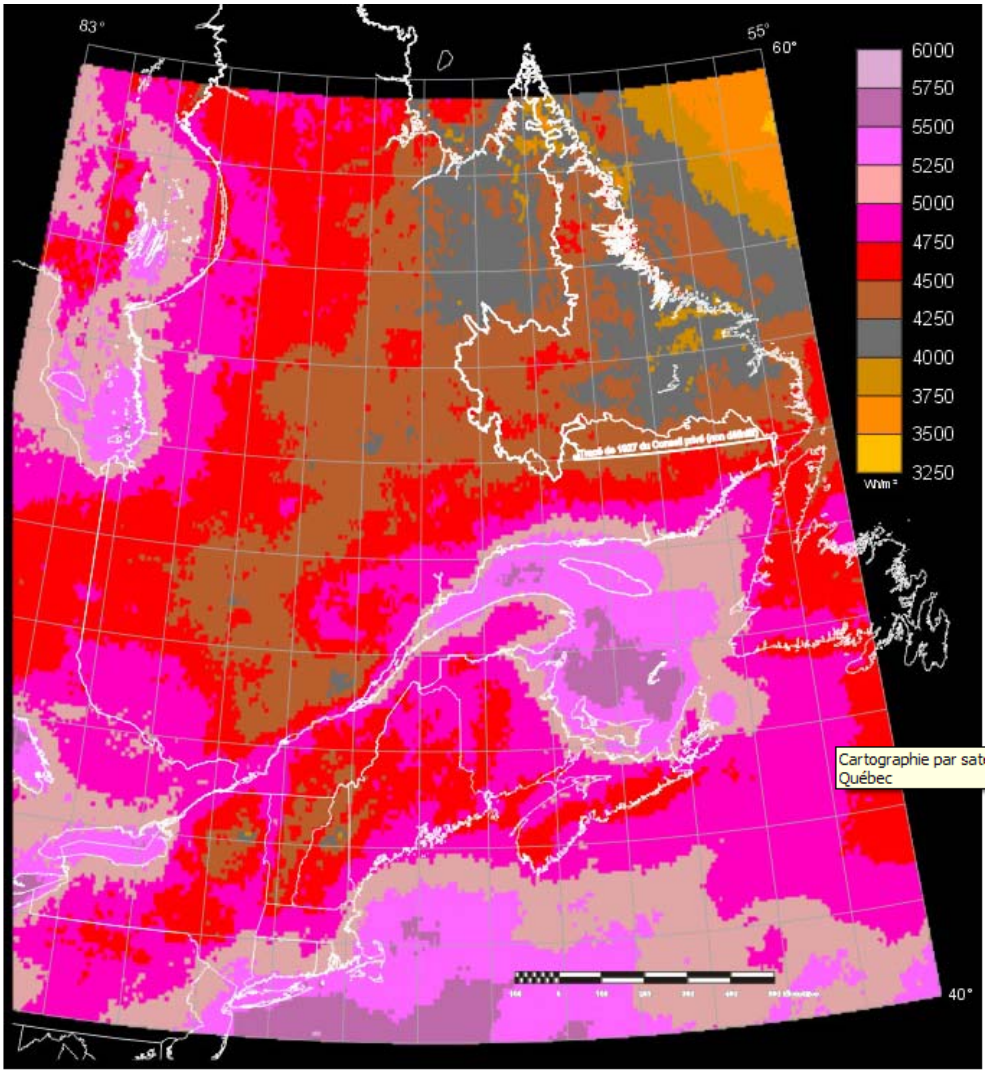


Figure A.10:Cartographie de l'intensité de l'ensoleillement

La valeur de l'intensité moyenne d'ensoleillement pour l'année est de 2820 $\frac{W}{m^2}$.

Tableau A.2:Statistiques sur les heures d'ensoleillement au Québec

Mois	Janv.	Févr.	Mars	Av	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Heure d'ensoleillements (en heures)	102	121	149	179	217	231	253	221	156	122	79	82

Annexe 8 :

Circuit du bloc du hacheur régulateur de tension

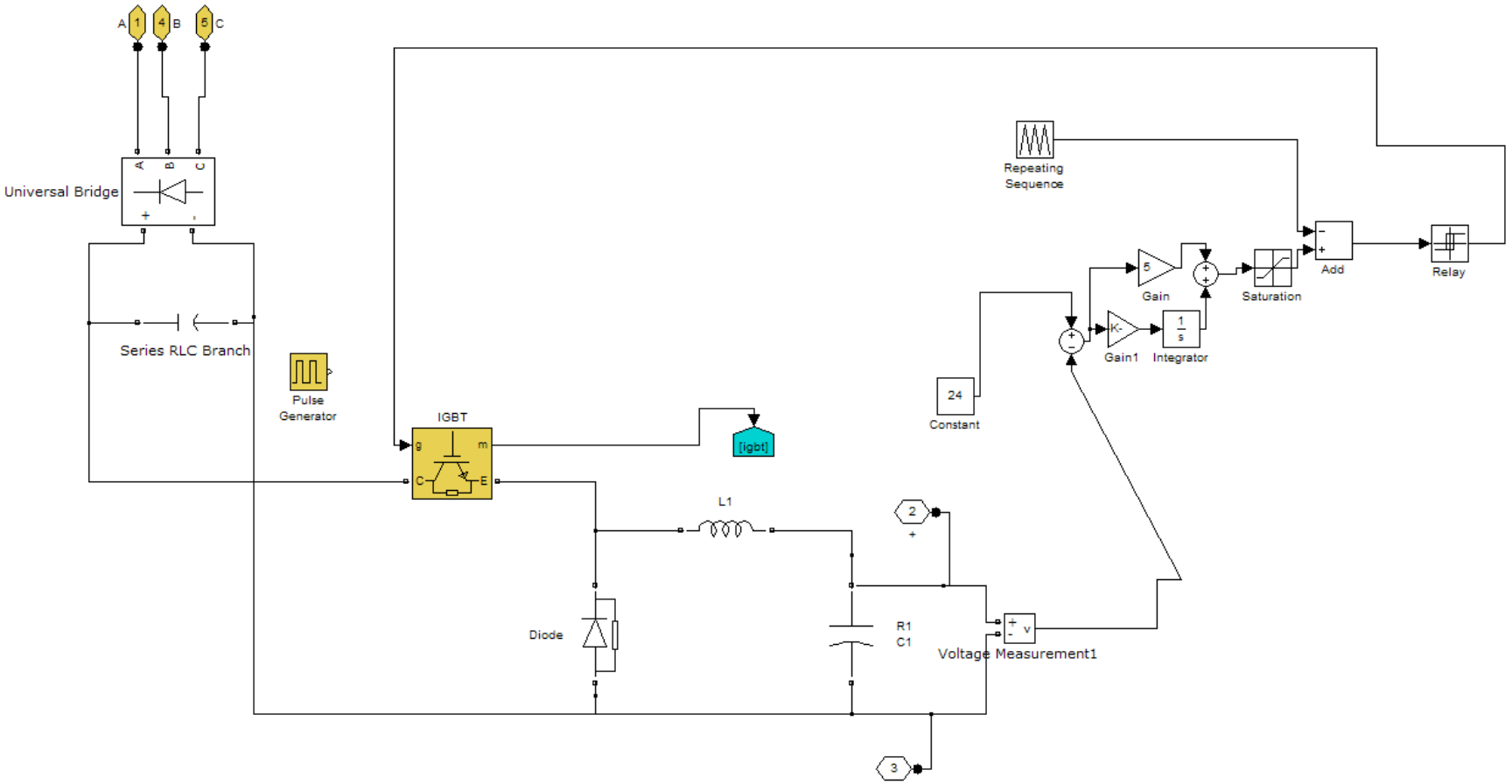


Figure A.11:Circuit Matlab du hacheur régulateur de tension

Circuit du block onduleur

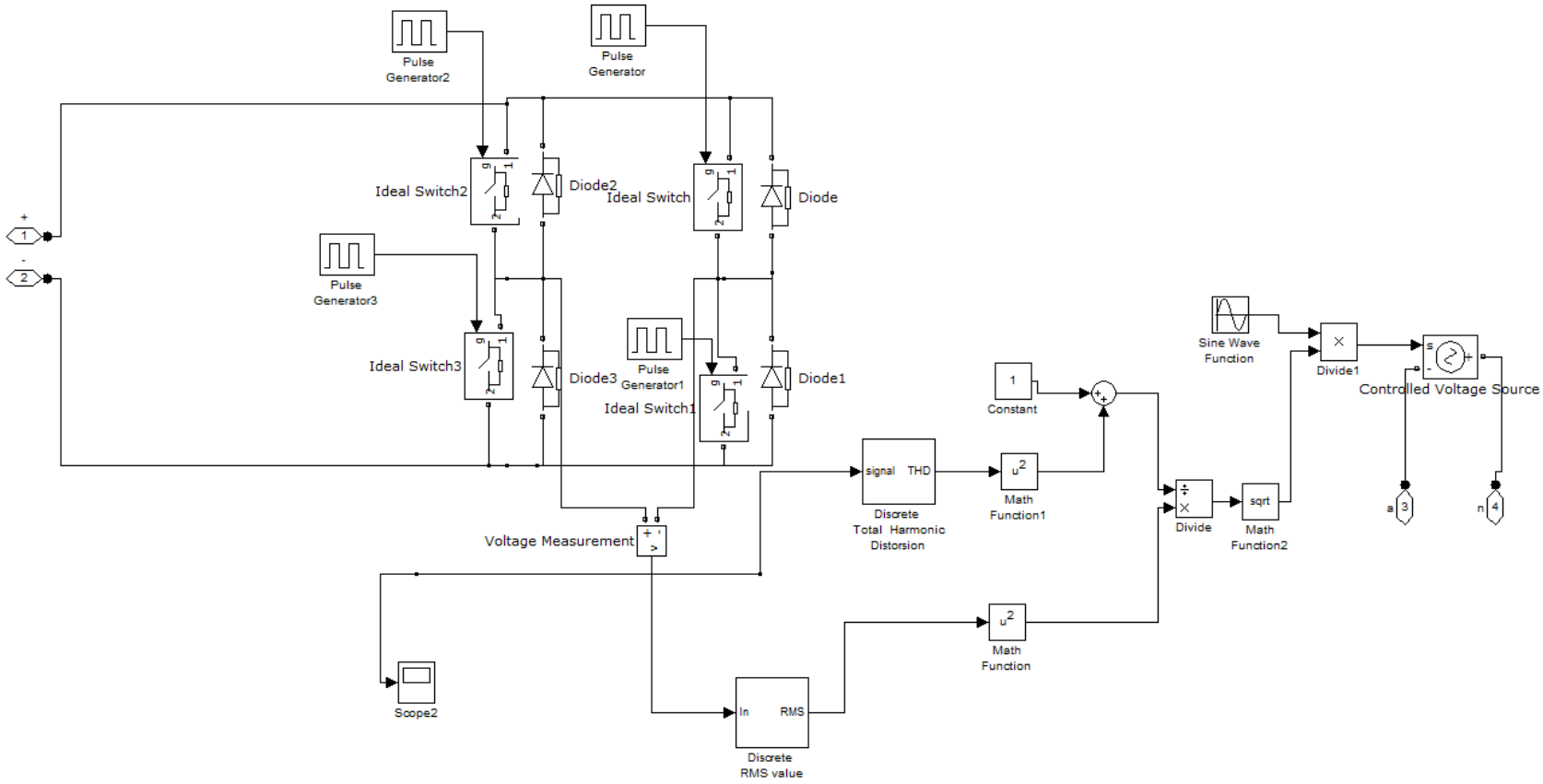


Figure A.12:Circuit Matlab de l'onduleur

Annexe 9 : Exemple de script Matlab pour la simulation des panneaux solaires

```
%function PANNEAU SOLAIRE pour la puissance
% 0 degres CELCIUS
Va = [0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 21 22 23 ]; % tension de module
Suns = [1]; % intensité lumineuse 1000
TaC = [0]; % température
A = 2 ; % panneau de 2 mètre carré d'air
%%%%
%Données panneaux solaires MSX-60
%%constante
n=1.2; %facteur de qualité
Vg= 1.12;% tension de bande Xtal 1.12eV pour Si,
Ns=36; % nombre de cellule
%IA = plot (Va, G, T) = vecteur tension
% Ia, Va = vecteur des courants et voltage
% G = nombre d'Suns (1 Sun = 1000 W/m2)
% T = température en degrés Celsius
k = 1.38e-23;% la constante de Boltzmann
q = 1.60e-19;% charge d'un électron
%Calcule du courant compte tenu de la tension, l'éclairage et la température

% Tension par cellule à la température T1
T1=273+25; % Température en Kelvins
Voc_T1 = 21.06/Ns; % tension en circuit ouvert
Isc_T1 = 3.80; % tension de court -circuit

%Tension par cellule à la température T2
T2= 273+75; % Température en Kelvins
Voc_T2= 17.05/Ns; % tension en circuit ouvert
Isc_T2 = 3.92; % tension de court -circuit

TaK = 273 + TaC; %température de la matrice(réel)
K0 = (Isc_T2-Isc_T1)/(T2-T1);
IL_T1= Isc_T1*Suns; % courant
IL=IL_T1+K0.*(TaK-T1) % courant
I0_T1=Isc_T1/(exp((q*Voc_T1)/(n*k*T1))-1); % courant
I0=I0_T1*(TaK/T1).^(3/n).*exp(-q*Vg/(n*k).*((1./TaK)-(1/T1))) % courant
Xv= I0_T1*q/(n*k*T1)*exp(q*Voc_T1/(n*k*T1));
dVdI_Voc = -1.15/Ns;
Rs = -dVdI_Voc - 1/Xv; % résistance série par cellule
Vt_Ta = n*k*TaK/q ;
Vc= Va/Ns;
Ia = zeros(size(Vc));

for j=1:5; % trouver le courant et la tension produisant la puissance maximale
    Ia = Ia -((IL-Ia-I0.*(exp((Vc+Ia.*Rs)./Vt_Ta)-1))./(-1-
(I0.*Rs.*((exp((Vc+Ia.*Rs)./Vt_Ta))./Vt_Ta))))
end
hold on, plot(Va,Ia.*Va,'r') % graphique de la puissance
```

Annexe 10 : Circuit *Simulink* de chargement pour tout les systèmes (éolien,solaire, diesel)

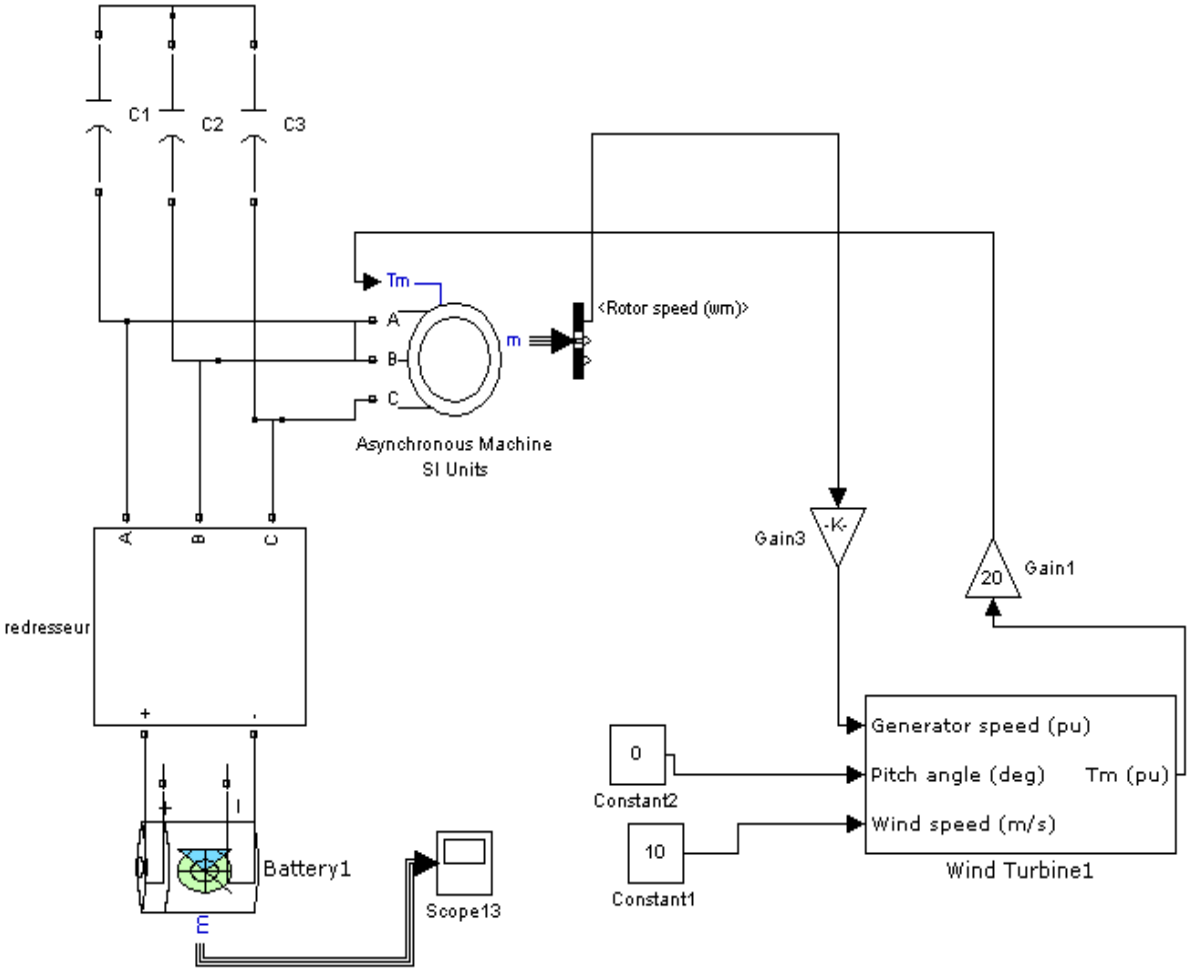


Figure A.13:Circuit Matlab de charge pour l'éolienne

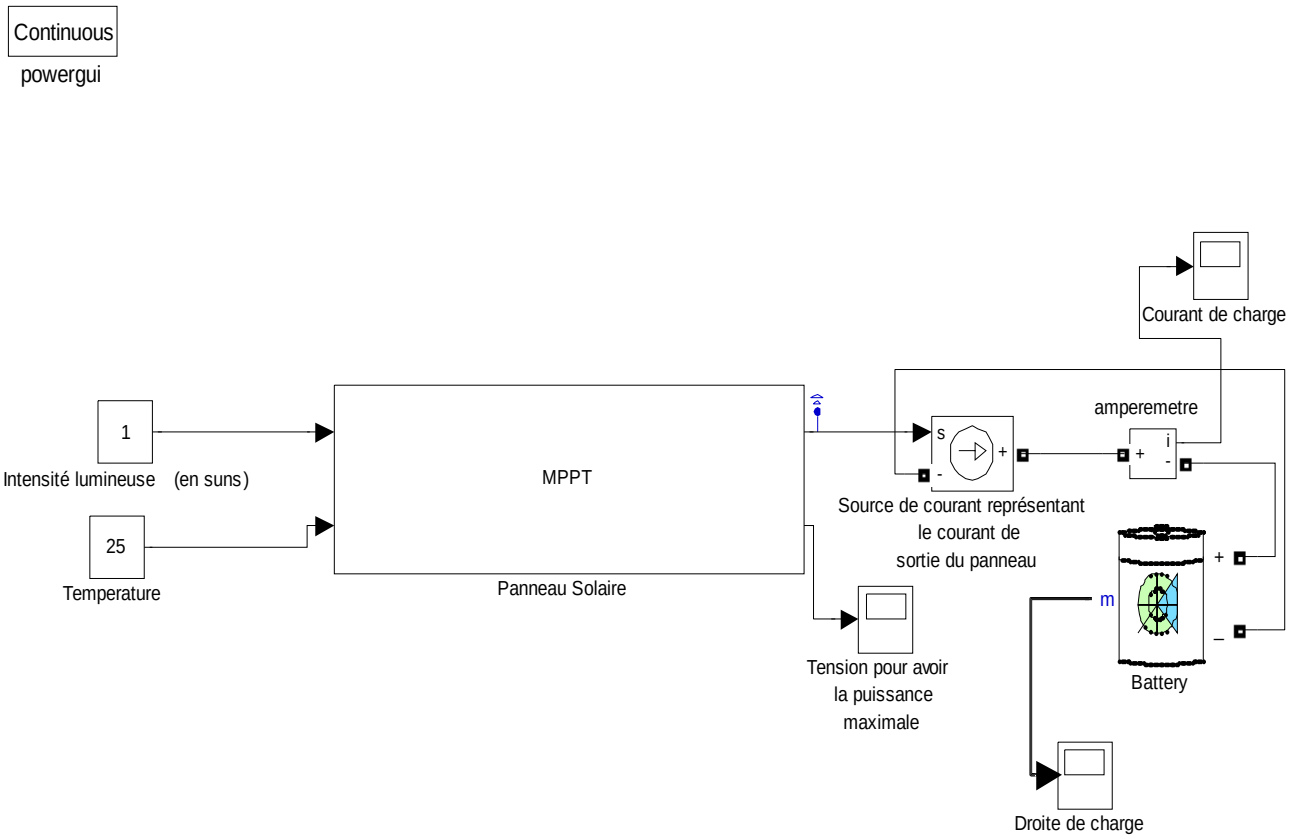


Figure A.14:Circuit Matlab de charge pour un panneau solaire

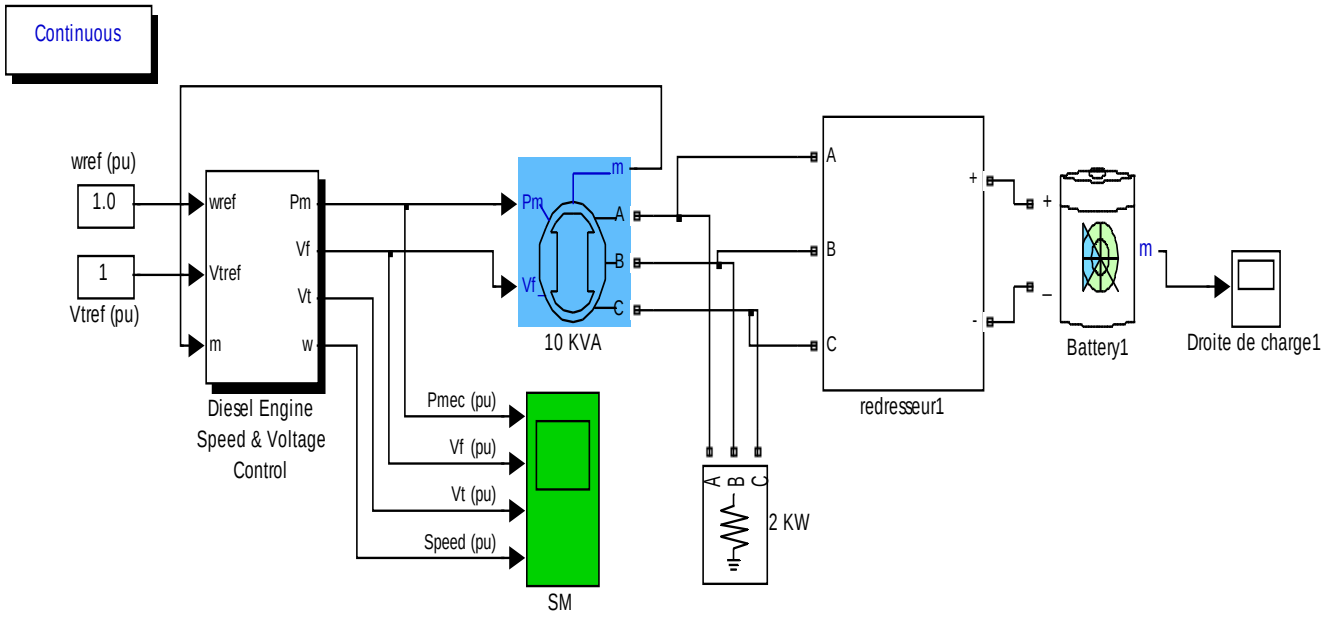


Figure A.15:Circuit de charge et d'alimentation Matlab pour la génératrice au diesel

Annexe 11 : Caractéristique du panneau solaire pour la modélisation et l'étude de l'influence des différents paramètres

MSX-60 and MSX-64 Photovoltaic Modules

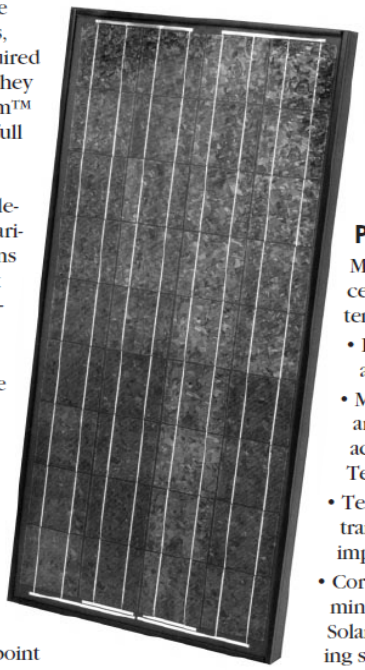
25 ANNIVERSARY 1973–1998

SOLAREX

The MSX-64 and -60 are among the most powerful of Solarex's Megamodule™ series, a product line which is the culmination of nearly three decades of extensive research in polycrystalline silicon photovoltaics. With over 3 amperes of current at peak power, these modules offer the most cost-effective package in the industry, and charge batteries efficiently in virtually any climate.

These modules may be used in single-module arrays or deployed in multiple-module arrays, wired in series/parallel combinations as required to meet current and voltage requirements. They are engineered under Solarex's IntegraSystem™ system integration concept, which ensures full compatibility with other Solarex subsystems and components (support hardware, regulators, etc.) and easy system assembly. As single-module arrays, they may be mounted on a variety of surfaces using optional kits or by means of user-fabricated support hardware. Solarex also offers hardware for supporting multiple-module arrays.

These modules are well-suited for virtually all applications where photovoltaics are a feasible energy source, including telecommunications systems, pumping and irrigation, cathodic protection, remote villages and clinics, and aids to navigation.



Individually Tested, Labeled and Warranted

As part of the final inspection procedure, every MSX module is tested in a solar simulator and labeled with its actual output—voltage, current, and power at maximum power point (P_{max})—at Standard Test Conditions and Standard Operating Conditions. Furthermore, the MSX-64 and -60 are covered by our industry-leading limited warranty, which guarantees:

- that no module will generate less than its guaranteed minimum P_{max} when purchased;
- at least 80% of the guaranteed minimum P_{max} for twenty years.

Contact Solarex's Marketing Department for full terms and limitations of this unparalleled warranty.

Reliable and Versatile

The Megamodule series has proved its reliability at thousands of installations in every climate on Earth. Among the features that contribute to its versatility:

Dual Voltage Capability

These modules consist of 36 polycrystalline silicon solar cells electrically configured as two series strings of 18 cells each. The strings terminate in the junction box on the module back. Shipped in 12V configuration, modules may easily be switched to 6V configuration in the field by moving leads in the junction box. This design also allows installation of bypass diodes on 18-cell strings, which can improve reliability and performance in systems with nominal voltage 24V and above.

High-Capacity Multifunction Junction Box

The size of the junction box (25 cubic inches, 411cc) and its six-terminal connection block allow most system array connections to be made right in the J-box. The box also can accommodate bypass or blocking diodes or a small regulator, which can save the expense and labor of additional boxes. The box is raintight (IP54 rated) and accepts 1/2" nominal or PG13.5 conduit or cable fittings. The standard terminals accept wire as large as AWG #10 (6mm^2); an optional terminal block accepts wire up to AWG #4 (25mm^2).

Proven Materials and Construction

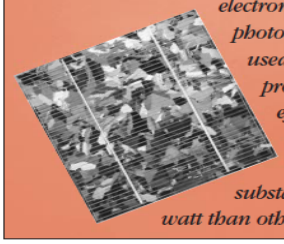
Megamodule materials reflect Solarex's quarter-century of experience with solar modules and systems installed in virtually every climate on Earth.

- Polycrystalline silicon solar cells: efficient, attractive, stable.
- Modules are rugged and weatherproof: cell strings are laminated between sheets of ethylene vinyl acetate (EVA) and tempered glass with a durable Tedlar backsheet.
- Tempered glass superstrate is highly light-transmissive (low iron content), stable, and impact-resistant.
- Corrosion-resistant, bronze-anodized extruded aluminum frame is strong, attractive, compatible with Solarex mounting hardware and most other mounting structures.

Options

- Blocking and bypass diodes
- Solarstate™ charge regulator
- Protective aluminum backplate

More than 20 years ago, Solarex made the first polycrystalline silicon solar cell, advancing photovoltaics beyond the first-generation monocrystalline technology developed for electronics. Developed specifically for photovoltaics, polycrystalline silicon is used in Solarex's Mega™ series to provide a wide range of attractive, efficient modules. They require substantially less energy to manufacture and generate substantially more energy per rated watt than other crystalline silicon modules.



630 Solarex Court, Frederick, MD 21703 USA • PHONE (301) 698-4200 • FAX (301) 698-4201 • www.solarex.com • info@solarex.com

Safety Approved

MSX-60 and -64 modules are listed by Underwriter's Laboratories for electrical and fire safety (Class C fire rating), certified by TUV Rheinland as Class II equipment, and approved by Factory Mutual Research for application in NEC Class 1, Division 2, Group C & D hazardous locations.

Quality Certified

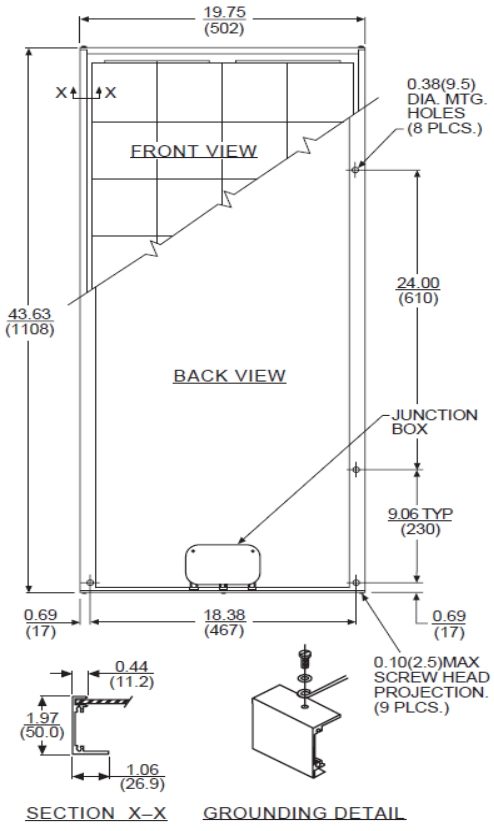
These modules are manufactured in our ISO 9001-certified factories to demanding specifications, and comply with IEC 1215, IEEE 1262 and CEC 503 test requirements, including:

- repetitive cycling between -40°C and 85°C at 85% relative humidity;
- simulated impact of one-inch (25mm) hail at terminal velocity;
- 2700 VDC frame/cell string isolation test;
- a "damp heat" test, consisting of 1000 hours of exposure to 85°C and 85% relative humidity;
- a "hot-spot" test, which determines a module's ability to tolerate localized shadowing (which can cause reverse-biased operation and localized heating);
- simulated wind loading of 125 mph (200 kph).

Mechanical Characteristics

Weight: 15.9 pounds (7.2 kg)

Dimensions: Dimensions in brackets are in millimeters
Unbracketed dimensions are in inches
Overall tolerances ±1/8" (3mm)



Typical Electrical Characteristics[1]

	MSX-64	MSX-60
Maximum power (P_{max})	64W	60W
Voltage @ P_{max} (V_{mp})	17.5V	17.1V
Current @ P_{max} (I_{mp})	3.66A	3.5A
Guaranteed minimum P_{max}	62W	58W
Short-circuit current (I_{sc})	4.0A	3.8A
Open-circuit voltage (V_{oc})	21.3V	21.1V
Temperature coefficient of open-circuit voltage	..... –(80±10)mV/°C	
Temperature coefficient of short-circuit current	....(0.065±0.015)%/°C ..	
Temperature coefficient of power	..... –(0.5±0.05)%/°C ...	
NOCT[2]	..... 47±2°C	

NOTES:

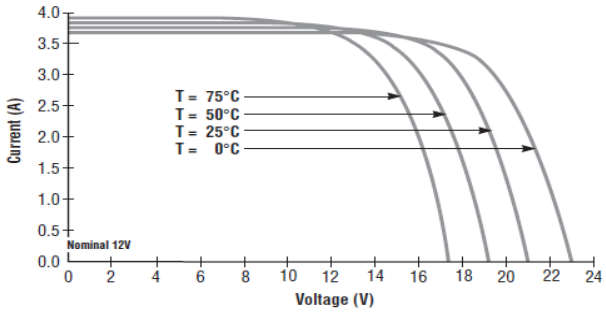
(1) These modules are tested, labeled and shipped in 12V configuration. These data represent the performance of typical 12V modules as measured at their output terminals, and do not include the effect of such additional equipment as diodes and cabling. The data are based on measurements made in a solar simulator at Standard Test Conditions (STC), which are:

- illumination of 1 kW/m² (1 sun) at spectral distribution of AM 1.5;
- cell temperature of 25°C or as otherwise specified (on curves).

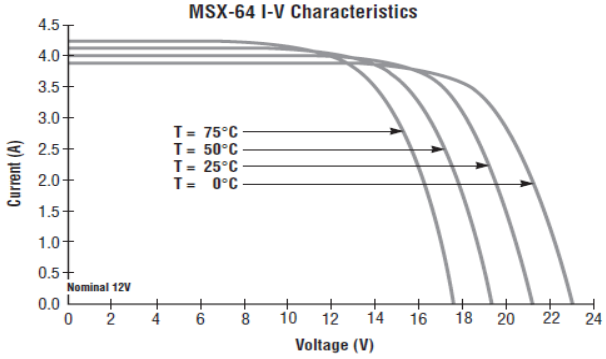
Operating characteristics in sunlight may differ slightly. To determine the characteristics of modules in 6V configuration, divide the 12V voltage characteristics by 2 and multiply current characteristics by 2. Power values are unchanged.

(2) Under most climatic conditions, the cells in a module operate hotter than the ambient temperature. NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) is an indicator of this temperature differential, and is the cell temperature under Standard Operating Conditions: ambient temperature of 20°C, solar irradiation of 0.8 kW/m², and wind speed of 1 m/s.

MSX-60 I-V Characteristics



MSX-64 I-V Characteristics



Download MSX-60 I-V XLS

Download MSX-64 I-V XLS

Download CAD

VARIABLES AFFECTING PERFORMANCE

The performance of typical MEGA SX-64 and -60 modules is described by the I-V curves and electrical characteristics table on the next page. Each module's actual, tested output characteristics are printed on its label.

The current and power output of photovoltaic modules are approximately proportional to illumination intensity. At a given intensity, a module's output current and operating voltage are determined by the characteristics of the load. If that load is a battery, the battery's internal impedance will dictate the module's operating voltage. An I-V curve is simply all of a module's possible operating points (voltage/current combinations) at a given cell temperature and light intensity. Increases in cell temperature increase current but decrease voltage.

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS[1]

	12 VOLT CONFIGURATION[2] MSX-64	MSX-60
Typical peak power (P_p)	64W	60W
Voltage @ peak power (V_{pp})	17.5V	17.1V
Current @ peak power (I_{pp})	3.66A	3.5A
Guaranteed minimum peak power	62W	58W
Short-circuit current (I_{sc})	4.0A	3.8A
Open-circuit voltage (V_{oc})	21.3V	21.1V
Temperature coefficient of open-circuit voltage	.....–(80±10)mV/ºC.....	
Temperature coefficient of short-circuit current	....(0.065±0.015)%/ºC...	
Approximate effect of temperature on power	.....–(0.5±0.05)%/ºC....	
NOCT[3]	..... 49ºC	

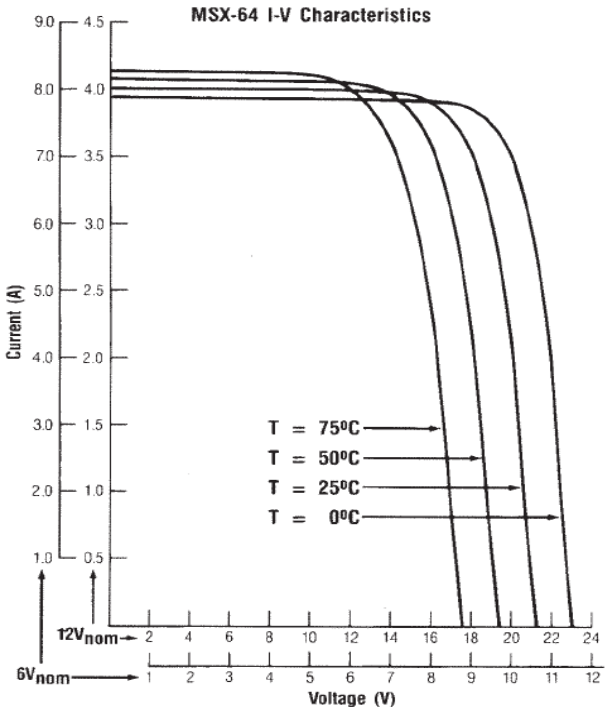
Notes:

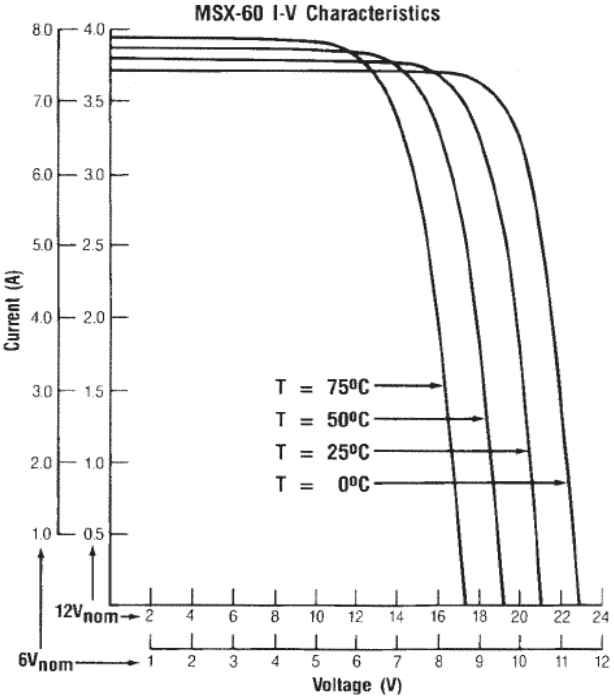
(1) These data represent the performance of typical modules as measured at their output terminals, and do not include the effect of such additional equipment as diodes and cabling. The data are based on measurements made at Standard Test Conditions (STC), which are:
- Illumination of 1 kW/m² (1 sun) at spectral distribution of AM 1.5
- Cell temperature of 25°C or as otherwise specified (on curves).

(2) Electrical characteristics of modules wired in the nominal 6V configuration may be found by using the 6V scales on the I-V curves. For more exact values, divide the 12V voltage characteristics in the table by 2 and multiply the 12V current characteristics by 2. Power values are unchanged.

(3) Under nearly all climatic conditions, the solar cells in an operating module are hotter than the ambient temperature, a fact which must be considered when reading module data. NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) is an indication of this temperature rise, and is the cell temperature under Standard Operating Conditions: ambient temperature of 20ºC, solar irradiation of 0.8 kW/m², and average wind speed of 1 m/s.

I-V CHARACTERISTICS





Annexe 12 : Spécification pour la génératrice sélectionnée

Hardy Diesels & Equipment Inc
15749 Lyons Valley Rd
Jamul, Ca 91935
800 341 7027
www.hardydiesel.com

HDYW SERIES

Power Range	kW
Standby	12.5
Prime	11.6

MODEL: HDYW - 14 M6

STANDARD EQUIPMENT

Open Type Set	Accessories Available for HYW-14 M6
■ Skid with integral day fuel tank (non-UL)	Mechanical Accessories Offered
■ Hardy M6 analog auto-start control panel (Page 4)	■ Road towing trailers to DOT standards
■ Dry-type replaceable element air-cleaner	■ Critical grade exhaust mufflers
■ Industrial muffler	■ UL double wall fuel tanks to customer specification
■ Battery, battery rack, and cables	■ Oil field type skid
■ Fuel and lubrication oil replaceable element filters	■ Flexible exhaust connection for open sets
■ Stamford AVR brushless 12-wire reconnectable alternator	■ Oil pressure and engine temperature gauges
■ Oil drain hand pump	■ Water Jacket heater
■ Vibration Isolators between base and set assembly	■ Extended warranty coverage period
■ Main Line Circuit Breaker for overload protection	
■ Belt driven charging alternator	Generator End Accessories Offered
■ Guards for shielding all rotating parts	■ Anti-condensation heaters in alternator
■ Fuel cut-off solenoid and protection switches	
■ Radiator with pusher fan	Electrical and Control Accessories Offered
■ Operation and installation manuals	■ Automatic battery chargers 1.5 and 6 amp
Sound Attenuated Enclosure	■ Digital Timer
■ Fully sound attenuated enclosure (equipped as open set)	
■ Powder Painted with finish that exceeds 1000-hr salt test	
■ Rock wool insulation behind protective barrier	
■ Curved edges and minimum outside fasteners	

GENERATOR RATINGS

				Standby Rating		Prime Rating	
Alternator	Voltage	Ph	Hz	kW	Amps	kW	Amps
BCI 164 D	120 / 240	1	60	12.5	52	11.6	48

Application Data

Alternator Specifications

Manufacturer	Newage Stamford
Type	4-pole, rotating field
Exciter type	Brushless, self excited.
Leads: quantity, type	12, reconnectable
Voltage regulator	Solid state, volts/Hz and excitation overload protection
Insulation:	
Material	Class H
Temperature rise	150° C , standby
Bearing: quantity, type	Single bearing sealed
Coupling	Flexible disc
Amortisseur Windings	Full
Voltage regulation, no-load to full load	± 1.5%
Unbalanced load capability	100% of rated standby current
Load acceptance	Per ISO - 8528
Peak motor starting kVA: 480 V	(30% dip) self-excited series - 34kVA

Engine Electrical Specifications

Engine Electrical System (12 Volt) 60 Hz

Battery charging alternator:	
Ground (negative/positive).	Negative
Volts (DC)	12V
Ampere rating	40A
Starter motor rated voltage (DC)	12V
Starter motor rated kW:	1.2Kw
Battery CCA rating:	740A
Battery & qty, AH rating:	1 x 66 AH
Battery Voltage (DC)	12V

Engine Mechanical Specifications

Manufacturer	Yanmar
Engine model	3TNV88
Engine type	4-cycle, Naturally aspirated
Cylinder arrangement	3 in line
EPA Certification :	TIER 4
Displacement, L (cu. in.)	1.64 (100)
Bore and stroke, mm (in.)	88 x 90 (3.46 x 3.54)
Compression ratio	19.1 : 1
Piston speed, m/min. (ft./min.)	324 (1063)
Main bearings: quantity, type	4, replaceable insert
Rated rpm	1,800
Max. power at rated rpm, kWm (BHP)	16.9 (22.7)
BMEP, gross, psi (Bar)	99.5 (6.86)
Overall thermal efficiency	34.4%
Exhaust Gas Flow, m³ /min (cfm)	4.70 (166)
Exhaust gas temperature °C (°F)	590 (1094)
Frequency regulation, no-load to full load	4.5 %
Governor: Type:	Mechanical
Make:	Yanmar
Standard:	
Frequency regulation, steady state	±0.4%
Frequency	Fixed
Air cleaner type	Dry

Remote Radiator System

Exhaust manifold type	Not Available
Connection sizes:	
Water inlet ID hose, mm (in)	
Water outlet ID hose, mm (in)	
Charge air cooling (CAC)	
Water inlet ID hose, mm (in)	
Water outlet ID hose, mm (in)	
Static head allowable above engine, ft.HPO (kPa)	
Maximum CAC restriction HPO in.	

Contact the HIPOWER distributor for special cooling options

Fuel Consumption 60 Hz

Diesel gal/hr (L/hr)	Standby Rating
100%	1.29 (4.9)
75%	1.03 (3.9)
50%	0.77 (2.9)
25%	0.45 (1.7)

Diesel gal/hr (L/hr)	Prime Power Rating
100%	1.18 (4.5)
75%	0.94 (3.6)
50%	0.71 (2.7)
25%	0.41 (1.6)

Application Data

Cooling

Radiator Systems	60 Hz
Ambient temperature, °C (°F)	NA
Engine jacket water capacity L (gal)	2.0 (0.52)
Radiator system capacity, including engine, L (gal.)	NA
Engine jacket water flow, L/min (g/min)	34 (9.0)
Heat rejected to cooling water at rated kW, dry exhaust, kW (Btu/min.)	10.49 (596.8)
Water pump type	Centrifugal
Fan, kWm (HP)	0.6 (0.8)
Max. restriction of cooling air, intake and discharge side of radiator, Pa (in. H²O)	62.2 (0.25)
dB(A) LEVEL SOUND ATTENUATED ENCLOSED	60 dB(A) @ 23 feet

Lubrication

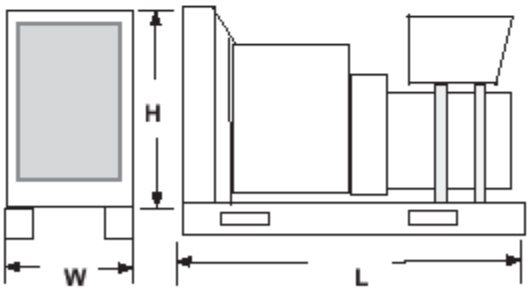
Lubricating System	60 Hz
Type	Full pressure
Oil pan capacity, L, (qt.) Recommended lube oil	6.7 (7.1) SAE15W40 ; API CF-4
Oil pan capacity with filter, L (qt.)	NA
Oil filter: quantity, type	1, cartridge
Oil cooler Maximum oil temperature, °C(°F)	None 120 (248)

Ventilation and Air-Flow Requirements

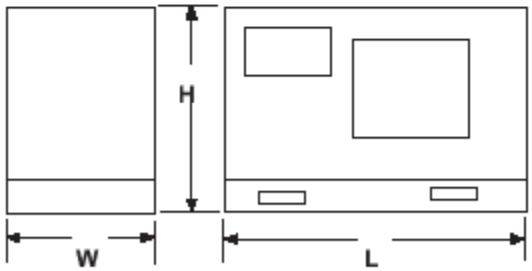
Air Requirements	60 Hz
Radiator-cooled cooling air, m³/min. (scfm)	NA
Air density kg/m³ (lbm/ft³)	1.20 (0.075)
Heat rejected to exhaust, kW (btu/min)	18.14 (1031.8)
Heat radiated to surrounding air Engine: kW (Btu)	2.84 (161.5)
Combustion air, m³/min. (cfm)	1.33 (46.9)

Dimensions and Weights

Open Skid Model	
Overall size, L x W x H, mm (ins.)	1,450 x 620 x 1,280 (57.1 x 24.4 x 50.4)
Weight, radiator-mounted model, kg (lb.):	387 (853)
Fuel Tank Capacity, L (US gal)	65 (17)



Sound Attenuated Enclosure	
Overall size, L x W x H, mm (ins.)	1,475 x 750 x 1,110 (58.1 x 29.5 x 43.7)
Weight, radiator-mounted model, wet, kg (lb.):	666 (1,468)
Fuel Tank Capacity, L (US gal)	23 (6.1)



NOTE: The drawings above are only representative of the overall dimensions.

RATINGS: Power factor three-phase is 0.8 and single-phase unity. Standby Ratings: Standby ratings assume installation normally served by reliable utility power. The standby rating is available for varying loads for the length of the power outage. No overload is available with the standby rating. Ratings are in accordance with ISO-3046/1 and DIN 6271. Prime Power Ratings: Prime power ratings assume no or unreliable utility power. For varying loads the generator set has unlimited operating hours. A 10% overload capacity is available for any 1 hour in a 12 hour continous running period. Ratings are in accordance with ISO-3046/1 and DIN 6271. Consult Himoinsa for limited running time and base load ratings. Himoinsa reserves the right to change the design or specifications without notice and without any obligation or liability whatsoever. DERATION GUIDELINES: Altitude: Derate 1.3% per 100 m (328 ft) elevation above 1000 m (3280 ft). Temperature: Derate 1.0% per 10°C (18°F) temperature above 40°C (104°F).

Hardy M6 Auto Start Analog Controller

1. Main Switch
2. Auto / Manual Switch
3. Reset Push Button

Controllers LED'S :

4. Fuel Reserve
5. Battery Charging Failure
6. Auxilliary Input Alarm
7. Glow Plug Pre-Heating
8. Stop With Cool-Down Period
9. Remote Start Contacts Closed
10. Engine Running
11. Emergency Stop Activated
12. Over-Speed
13. Low Oil Pressure
14. High Coolant Temperature
15. Engine Failure
16. Engine Failed to Start
17. Power Supply

Shutdowns and Alarms for:

* High Coolant Temperature
* Low Oil Pressure
* Over-Speed

Hardy Diesels & Equipment Inc
15749 Lyons Valley Rd
Jamul, Ca 91935
800 341 7027
www.hardydiesel.com

Annexe 13 : Circuit d'implantation